LE SCOGLIERE DELLA CARNIA
DIE KARNISCHEN RIFFE

LE SCOGLIERE DELLA CARNIA
IN UN MARE TROPICALE, 400 MILIONI DI ANNI FA

DIE KARNISCHEN RIFFE
IN EINEM TROPISCHEN MEER (VOR 400 MILLIONEN JAHREN)

Nell'ambito delle iniziative del progetto Interreg **GeoTrAC**, il Museo Friulano di Storia Naturale, in collaborazione con gli altri partner, ha sviluppato alcune linee di ricerca sul Paleozoico Carnico: quella sul Devoniano delle Alpi Carniche comprende anche la realizzazione di un volume divulgativo e l'allestimento di una mostra, curata dall'UTI della Carnia.

Im Rahmen der Initiativen des Interreg-Projekts **GeoTrAC**, hat das Friauler Naturkundemuseum in Zusammenarbeit mit anderen Partnern einige Forschungsstudien über das Karnische Paläozoikum durchgeführt: die Arbeiten zum Devon der Karnischen Alpen umfassen die Erstellung eines allgemeinverständlichen Heftes und die Einrichtung einer Ausstellung durch den Interkommunalen Gebietsverband (UTI) Karnien.

Fotografie / Bildnachweis (il n. è quello della figura)
Archivio Museo Friulano di Storia Naturale: 33, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54
Giovanni Battista Carulli: 59, 60
Carlo Corradini: 26, 27,29, 30, 36, 37, 38, 55, 56
Adalberto D'Andrea: 1, 2, 3, 10, 11, 16, 20, 22, 25, 65, 66
Bruno Fassina: 68, 69, 70
Ivo Pecile: 15, 17, 18, 23, 24, 57, 58, 62, 71
Luca Simonetto: 52
Elido Turco: 18
Corrado Venturini: 31
Roberto Zucchini: 63, 64, 67
www.Marmo Educational (Francesca Dibitonto): 61

Disegni / Zeichnungen
Fritz Messner: 32, 34
Roberto Zanella: 14, 19, 28

Copertina / Abdeckung
Furio Colman

ISBN
978 88 88192 60 4

Redazione / Redaktion
Giuseppe Muscio, Margherita Solari, Cristiana Agostinis, Daniela De Prato, Luca Simonetto

Testi / Texte
Carlo Corradini, con Giuseppe Muscio, Luigi Vidus, Roberto Zucchini

Traduzioni / Übersetzung
Punto Lingue, Udine

Allestimento della mostra / Ausstellung Vorbereitung
Coop. Nat. "M. Gortani", Udine

Grafica della mostra / Ausstellungsgrafik
Furio Colman, Coop. Nat. "M. Gortani", Udine

Un particolare ringraziamento a / Ein besonderer Dank geht an
Circolo Speleologico e Idrologico Friulano, Marmi Bertacco, Miriam D'Andrea, Maurizio Giarduz, Sylvano Job, Roberto Micheli, Gerlinde Ortner, Marco Pantaloni, Roberto Rigo, Margherita Solari, Claudia Spalletta, Thomas Suttner, Claudio Trapanotto, Elido Turco

Iniziativa realizzata nell'ambito del progetto Interreg Italia-Austria 2014-2020 GeoTrAC e cofinanziata con fondi europei per lo sviluppo regionale.

Die Initiative wird im Rahmen des Interreg 2014-2020 Italien Österreich-Projekts GeTrAC errichtet und durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung kofinanziert.

a cura di Carlo Corradini

LE SCOGLIERE DELLA CARNIA

IN UN MARE TROPICALE, 400 MILIONI DI ANNI FA

DIE KARNISCHEN RIFFE

IN EINEM TROPISCHEN MEER (VOR 400 MILLIONEN JAHREN)

Comune di Udine - Museo Friulano di Storia Naturale - 2018

INTRODUZIONE

La storia geologica delle Alpi Carniche - sviluppatasi per quasi 500 milioni di anni - è punteggiata da eventi significativi che hanno lasciato tracce ben visibili sul terreno e che anche l'occhio meno esperto riesce a percepire.
Osservare la frastagliata successione di cime che marca la linea di confine e segna quello che in passato veniva definito "nucleo centrale carnico", permette di evidenziare immediatamente la presenza di possenti massicci montuosi costituiti dal succedersi di potenti livelli di rocce biancastre o grigie. Sono tutti, o quasi, calcari del Devoniano, ovvero rocce composte da carbonato di calcio che si sono depositate, indicativamente, fra i 420 e i 360 milioni di anni fa.
Certo, le rocce calcaree non sono una rarità nel nostro territorio.
Ma a guardare bene i gruppi dei Monti di Volaia, Coglians (Figg. **1-2**), Zermula, Cavallo di Pontebba ci accorgiamo che spesso le rocce sono massicce, non marcate da una fitta stratificazione; entrando ancor più nel dettaglio, osservando da vicino le rocce, ci accorgeremmo che a volte sono costituite da frammenti organici: alghe, coralli ed altri ancora. In altri casi potremmo notare che la roccia, in realtà, è un … perfetto puzzle di frammenti di roccia, il risultato della deposizione di piccole frane sottomarine che hanno interessato le stesse rocce così piene di organismi.
Il mistero è presto risolto: il Monte Coglians e gli altri massicci montuosi non sono altro che la testimonianza giunta fino a noi dell'attività di miliardi di organismi, a volte piccolissimi, che in circa 40 milioni di anni hanno costituito una scogliera lunga decine di chilometri ed alta ben più di un chilometro. Non solo, le rocce testimoniano degli ambienti vicini, quelli di mare aperto con le loro faune, ma anche della scomparsa delle scogliera stessa e dei primi segni di quell'impressionante insieme di movimenti che porterà alla formazione della prima e più antica Catena Carnica.
Ma questa è solo una delle molte ed affascinanti puntate che raccontano la storia delle Alpi Carniche, in passato palestra di studio e confronto (anche aspro) fra i grandi geologi italiani ed austriaci (è qui che si è formato anche Michele Gortani), ed ora invece luogo di studi comuni e di valorizzazione transfrontaliera con la creazione del Geoparco delle Alpi Carniche.

1 > Il Monte Coglians e, in secondo piano, i Monti di Volaia visti da oriente.

EINLEITUNG

In der etwa 500 Millionen Jahre langen geologischen Geschichte der Karnischen Alpen finden sich deutliche Spuren zahlreicher bedeutender Ereignisse, die auch für Laienaugen gut erkennbar sind.

Bei der Betrachtung der zerklüfteten Gipfelabfolge, welche die Grenzlinie markiert und das aufzeigt, was einstmals als „zentraler karnischer Kern“ bezeichnet wurde, fallen sofort die eindrucksvollen Bergmassive auf, die aus einer Abfolge mächtiger Schichten weißlichen oder grauen Gesteins bestehen. Es handelt sich dabei fast ausschließlich um Kalke aus dem Devon, d.h. um Felsen, die aus Kalziumkarbonat bestehen und vor ungefähr 420-360 Millionen Jahren ablagert worden sind.

Sicher, Kalkfelsen sind nicht gerade eine Rarität in unserer Gegend...

... doch bei genauerer Betrachtung der Berggruppen Wolaya, Hohe Warte (Abb. **1-2**), Zermula und Roßkofel bei Pontebba fällt auf,

2 > Calcari devoniani modellati dal fenomeno carsico nell’area di Monumenz (versante sudorientale del Monte Coglians).

dass das Gestein häufig nicht massiv ist und keine enge Schichtung besitzt; sieht man sich dann das Gestein aus der Nähe etwas genauer an, so fällt auf, dass es sich aus organischen Überresten zusammen setzt: Algen, Korallen und verschiedene andere Lebewesen. In anderen Fällen wiederum gleicht der Fels einem perfekten Puzzle aus Gesteinsstücken. Die Gesteinskomponenten entstammen denselben organismenreichen Felsen und lagerten sich in der Folge kleinerer unterseeischer Abbrüche zusammen ab.
Das Rätsel ist rasch gelöst: die Hohe Warte und die anderen Bergstöcke sind nichts weiter als das bis zum heutigen Tag überlieferte Zeugnis für das Wirken von Milliarden von (mitunter winzig kleinen) Organismen, die im Laufe von rund 40 Millionen Jahren ein –zig Kilometer langes und mehr als einen Kilometer mächtiges Riff geschaffen haben. Und nicht nur das: die Felsen lassen ebenfalls Rückschlüsse auf die umliegenden Lebensräume (offenes Meer) mit der dortigen Fauna zu, belegen aber auch das Verschwinden des Riffs und die ersten Anzeichen des beeindruckenden Zusammenspiels an Bewegungen, die später zur Entstehung der ersten und ältesten karnischen Bergkette führen sollten.
Doch dies ist nur eine von vielen faszinierenden Episoden in der Geschichte der Karnischen Alpen, die in der Vergangenheit Studienobjekt und (auch sehr strittiges) Diskussionsthema zwischen großen italienischen und österreichischen Geologen waren (hier tat sich auch Michele Gortani hervor), heute hingegen ein Ort der gemeinsamen Studien und grenzübergreifenden Wertschätzung sind, wie die Schaffung des Geoparks Karnische Alpen zeigt.

IL MONDO NEL DEVONIANO

Il Devoniano è quel periodo della storia della Terra compreso tra 419 e 359 milioni di anni fa: è il quarto, in ordine di tempo, dei periodi in cui è divisa l'Era Paleozoica, preceduto dal Siluriano e seguito dal Carbonifero.
Il nome deriva dalla contea di Devon nell'Inghilterra meridionale, dove nel 1838 Adam Sedgwick e Roderick Murchison, due pionieri della geologia inglese, definirono per la prima volta l'età delle rocce marine della regione, riconoscendone la corrispondenza con quelle continentali presenti nel Galles. Queste ultime erano già state datate come successive a quelle del Siluriano, e precedenti a quelle del Carbonifero. Di conseguenza il nome Devoniano fu introdotto per indicare le rocce depositatesi dopo il Siluriano e prima del Carbonifero in Gran Bretagna; in seguito fu esteso a tutta la Terra.
Il Devoniano è durato circa 60 milioni di anni, un tempo quasi analogo a quanto trascorso dall'estinzione dei dinosauri a oggi. I geologi hanno deciso di suddividerlo in tre intervalli più brevi, chiamati rispettivamente Devoniano Inferiore (la parte più antica), Devoniano Medio (la parte centrale) e Devoniano Superiore (la parte più recente). Queste tre parti sono poi ulteriormente divise in intervalli più brevi, che derivano i loro nomi da località caratterizzate dalla presenza di rocce di queste età (Fig. **4**).
Il Devoniano Inferiore si divide in Lochkoviano (dal paese di Lochkov, alla periferia di Praga in Repubblica Ceca), Pragiano (dal nome della capitale della Repubblica Ceca) ed Emsiano (dal fiume Ems, in Germania).
Il Devoniano Medio è diviso in Eifeliano (dalle colline di Eifel in Germania) e Givetiano (da Givet, un enclave francese al confine con il Belgio nelle Ardenne).
Il Devoniano Superiore si divide in Frasniano e Famenniano. Entrambi i nomi derivano da località nelle Ardenne, in Belgio: il Frasniano deve il nome al paese di Frasnes, il Famenniano all'area di Famenne.
Il Devoniano è stato un periodo di grandi cambiamenti, sia in ambiente marino che sulle terre emerse. Sui continenti, fino ad allora largamente disabitati, si diffusero le prime grandi foreste, mentre i vertebrati erano ancora rari e rappresentati solo da qualche anfibio. Nei mari meno profondi si svilupparono le più grandi scogliere coralline della storia della Terra, e si dif-

3 > La Creta di Collinetta/Cellon, coperta dalle nubi, vista da ovest; a destra la parte più orientale della Cresta Verde.

4 > Suddivisioni del tempo geologico con il dettaglio relativo al Devoniano.

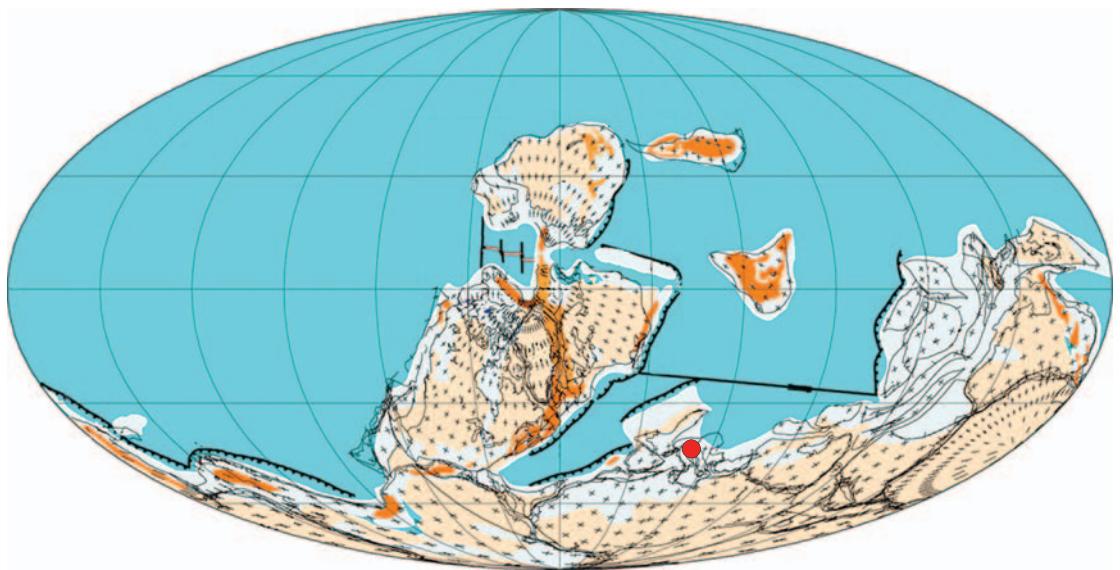
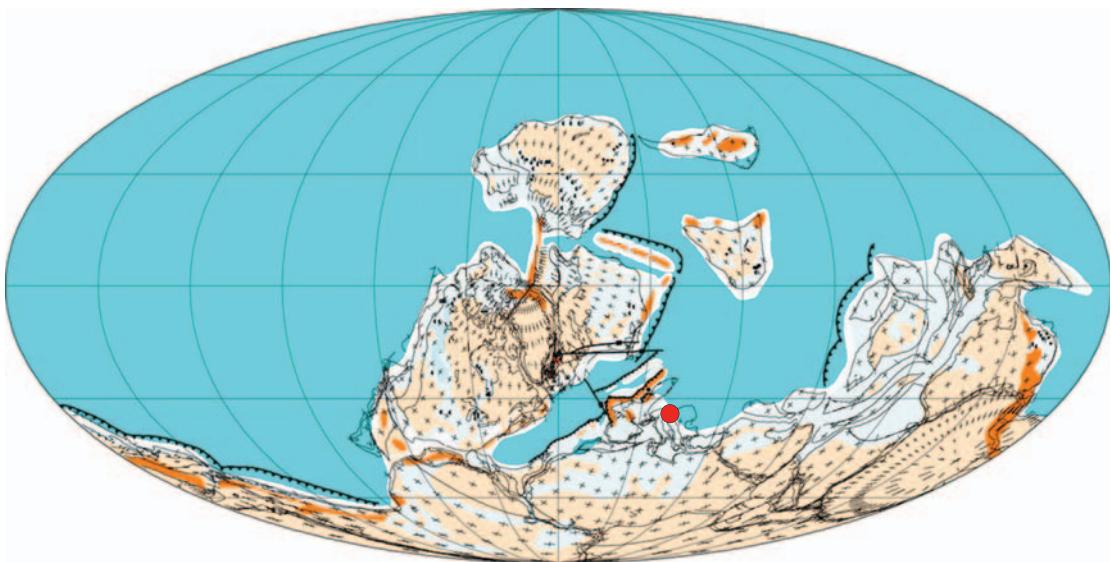
DIE ERDE IM DEVON

Das Devon ist in der Erdgeschichte die vierte geochronologische Periode innerhalb des Paläozoikums. Es begann vor 419 Millionen Jahren und endete vor 359 Millionen Jahren. Das Devon folgt auf das Silur und wird vom Karbon gefolgt.
Der Name leitet sich von der gleichnamigen Grafschaft Devon im Süden Großbritanniens ab, wo 1838 die Pioniere der englischen Geologie Adam Sedgwick und Roderick Murchison erstmals das marine Gestein der Region datierten und seine zeitliche Übereinstimmung mit den kontinentalen Gesteinen in Wales erkannten. Letztere waren bereits früher als zeitlich nach dem Silur und vor dem Karbon eingestuft worden. Mit dem neu eingeführten Begriff ‚Devon' wurden zunächst Gesteinsablagerungen nach dem Silur und vor dem Karbon in Großbritannien bezeichnet, später wurde er dann global ausgedehnt.
Das Devon dauerte rund 60 Millionen Jahre, was ungefähr der Zeitspanne entspricht, die seit dem Aussterben der Dinosaurier bis heute verstrichen ist. Die Geologen haben es in drei kürzere Intervalle unterteilt: Unterdevon (der älteste

fusero e differenziarono i pesci: proprio per questo il Devoniano è anche chiamato "Età dei pesci". Le scogliere sparirono verso la fine del periodo, quando si verificarono due delle più grandi estinzioni della storia della Terra, che provocarono la scomparsa di molti organismi.

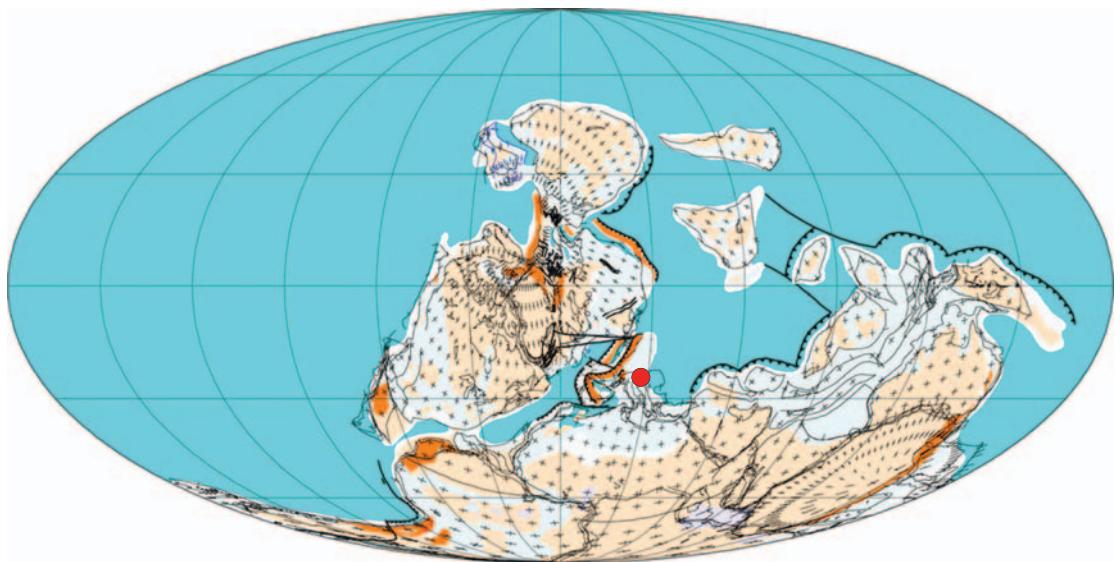
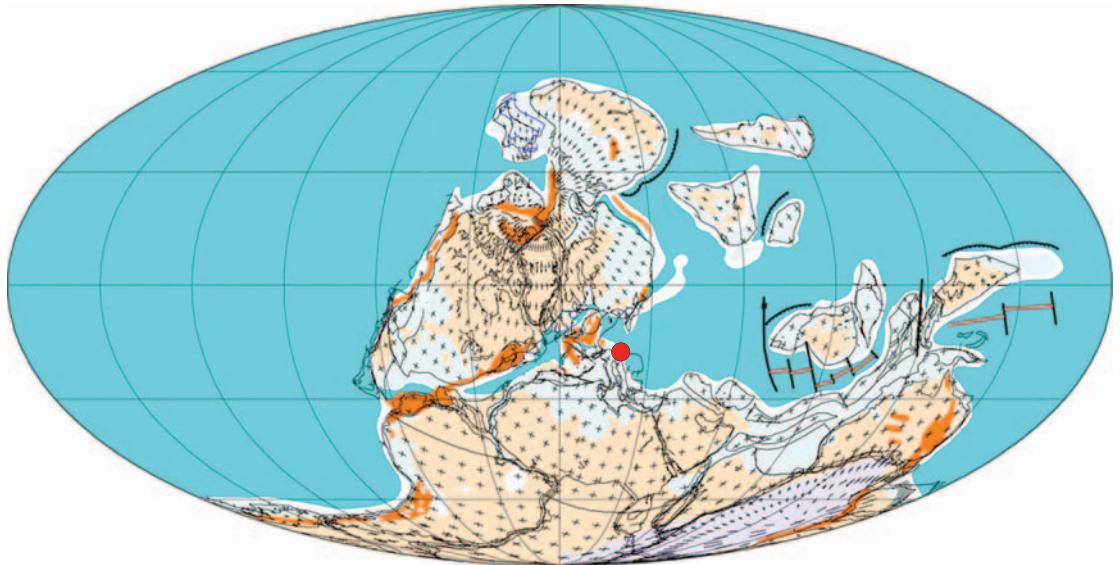
La geografia

Anche se noi consideriamo la geografia come una caratteristica stabile della Terra, in realtà i continenti sono in continuo, lento, movimento. Lo testimoniano i terremoti, più o meno forti, che quotidianamente avvengono: ogni fenomeno sismico è il risultato dello spostamento generato dalle spinte di continenti in movimento relativo tra loro. Nel tempo, quindi, i vari continenti possono scontrarsi, formando catene montuose e cancellando intere aree occupate dal mare, oppure possono dividersi in terre più piccole; analogamente alcuni oceani possono ridursi fino a scomparire, mentre altri si allargano. Per esempio, oggi l'Oceano Atlantico si sta allargando di qualche centimetro all'anno; la catena montuosa dell'Himalaya, dove si trovano le montagne più alte della Terra, sta ancora crescendo. Più vicino a noi, il Mar Mediterraneo si sta lentamente chiudendo a causa del movimento verso nord-est dell'Africa, e lascerà il posto a una nuova catena montuosa. Probabilmente l'uomo non riuscirà a vedere i "Monti Mediterranei", come vengono chiamate queste montagne nelle simulazioni della geografia della Terra tra poche decine di milioni di anni.

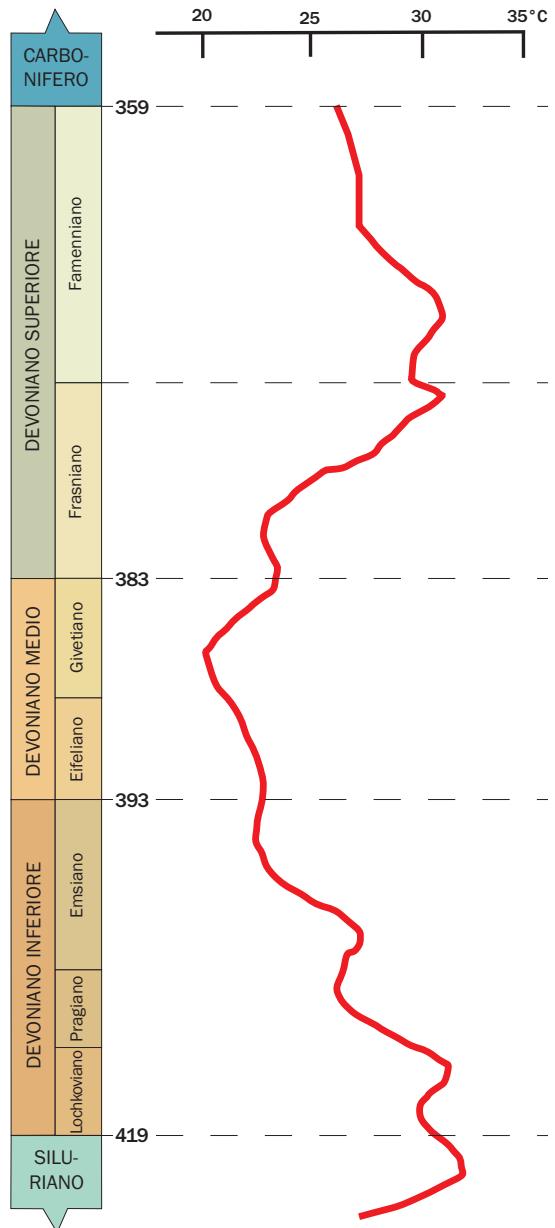
Guardando un carta geografica della Terra nel Devoniano Inferiore (Fig. **5**) risalta immediatamente che quasi tutti i continenti si trovavano nell'emisfero sud, mentre l'emisfero nord era occupato quasi interamente da un enorme oceano. Il continente più grande era il

5 > Mappa paleogeografica con la distribuzione di mari e terre emerse durante il Lochkoviano: Devoniano Inferiore, circa 410 milioni di anni fa (da Golonka & Gaweda, 2012 modif.); il pallino rosso indica la posizione delle odierne Alpi Carniche.

6 > Mappa paleogeografica con la distribuzione di mari e terre emerse durante l'Emsiano: Devoniano Inferiore, circa 400 milioni di anni fa (da Golonka & Gaweda, 2012 modif.).

Abschnitt), Mitteldevon (der zentrale Abschnitt) und Oberdevon (der jüngste Abschnitt). Diese drei so genannten Serien unterteilen sich wiederum in noch kürzere, „Stufen" genannte Intervalle, deren Namen sich von den Orten ableiten, die vom Gestein dieser Zeitspannen geprägt sind (Abb. **4**).
Das Untervon unterteilt sich in die Stufen Lochkovium (nach dem Ortsteil Lochkov im Südwesten Prags in Tschechien benannt), Pragium (nach der tschechischen Stadt Prag benannt) und Emsium (nach dem deutschen Fluss Ems benannt). Das Mitteldevon unterteilt sich in Eifelium (nach dem deutschen Mittelgebirge der Eifel benannt) und Givetium (nach der französischen Gemeinde Givet in den französischen Ardennen an der Grenze zu Belgien benannt). Das Oberdevon unterteilt sich in Frasnium und Framennium. Beide Stufen sind nach Orten in den belgischen Ardennen benannt: das Frasnium nach der Ortschaft Frasnes, das Famennium nach der Region Famenne.
Im Devon fanden sowohl in den Meeren, als auch auf den Landmassen umwälzende Veränderungen statt. Auf den bis dahin weitgehend unbewohnten Kontinenten verbreiteten sich die ersten großen Wälder; Wirbeltiere hingegen waren noch selten und nur durch einzelne Amphibien vertreten. In den flacheren Meeren bildeten sich die größten Korallenriffe der Erdgeschichte und die Fische entwickelten sich in ungeheurer Vielfalt. Daher wird das Devon häufig auch als „Zeitalter der Fische" bezeichnet. Die Riffe verschwanden gegen Ende des Systems, als zwei der größten Massenaussterben der Erdgeschichte stattfanden, von denen sehr viele Tierarten betroffen waren.

Die Geografie

Zwar betrachten wir die Geografie als eine feste Eigenschaft der Erde, doch in Wahrheit befinden sich die Kontinente in ständiger, langsamer Bewegung. Beweis hierfür sind die mehr oder weniger starken Erdbeben, die sich tagtäglich ereignen. Jedes Erdbeben ist das Ergebnis einer Verschiebung, die von den Schüben der sich relativ zueinander bewegenden Kontinente verursacht werden. So können im Laufe der Zeit die einzelnen Kontinente aufeinander treffen, dabei Bergketten formen und gleichzeitig ganze vom Meer bedeckte Bereiche auslöschen, oder sie können sich in kleinere Landmassen teilen; analog hierzu können manche Ozeane schrumpfen, bis sie vollständig verschwinden, während andere größer werden. Ein Beispiel aus der heutigen Zeit ist der Atlantische Ozean, der sich jedes Jahr um einige Zentimeter ausdehnt; das Himalaya-Gebirge, wo sich die höchsten Berggipfel der Erde befinden, wächst noch

7 > Mappa paleogeografica con la distribuzione di mari e terre emerse durante il Frasniano: Devoniano Superiore, circa 380 milioni di anni fa (da Golonka & Gaweda, 2012 modif.).

8 > Mappa paleogeografica con la distribuzione di mari e terre emerse durante il Tournasiano: Carbonifero inferiore, circa 345 milioni di anni fa (da Golonka & Gaweda, 2012 modif.).

Gondwana, che approssimativamente comprendeva terre che ora costituiscono l'America meridionale, l'Africa, l'Europa meridionale, l'Arabia e il Medio Oriente, l'Iran, l'India, buona parte della Cina, il Sud-est asiatico, l'Australia e l'Antartide. Un altro continente di grandi dimensioni era il Laurussia, situato in zona tropicale. Approssimativamente com-

immer. Das naheliegende Mittelmeer schließt sich aufgrund des nach Nordosten driftenden afrikanischen Kontinents langsam und an seiner Stelle wird eine neue Bergkette entstehen. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird der Mensch wohl niemals dieses neue Mittelmeer-Gebirge, wie es in Simulationen der Erdgeografie für die nächsten –zig Millionen Jahre genannt wird, zu Gesicht bekommen.
Beim Betrachten einer geografischen Karte der Erde im Unterdevon (Abb. **5**) fällt sofort auf, dass sich fast alle Kontinente auf der Südhalbkugel befanden, während die Nordhalbkugel fast gänzlich von einem riesigen Ozean bedeckt war. Der größte, auch Superkontinent genannte Kontinent war Gondwana: er umfasst Südamerika, Afrika, Mitteleuropa, Arabien und den Mittleren Osten, Iran, Indien, einen Großteil Chinas, Südostasien, Australien und die Antarktis.
Ein weiterer, recht großer Kontinent war Laurussia; er lag in der tropischen Zone und umfasste annäherungsweise Nordamerika und Nordeuropa. Ebenfalls im Äquatorbereich befand sich ein weiterer, kleiner Kontinent namens Kasachstania, der dem heutigen Gebiet einiger Zonen Zentralasiens entspricht. Die einzigen Landmassen auf der Nordhalbkugel bildeten die Kontinente Siberia und Amuria; sie beide entsprechen dem heutigen Sibirien.
Im Laufe des Devons (Abb. **6-8**) driftete Gondwana immer weiter nach Norden und näherte sich Laurussia so sehr an, dass der sie trennende Rheische Ozean stark schrumpfte und im Karbon sogar gänzlich verschwand. Auch Kasachstania näherte sich auf seinem Driftweg nach Nordwesten stark Siberia. Die Karnischen Alpen bildeten einen Teil des nördlichen Randes von Gondwana, wie auch andere kleine Landmassen, die heute Nordafrika sowie Mittel- und Südeuropa bilden: Marokko, Teile Spaniens, Frankreich, Sardinien, Teile Österreichs und Deutschlands sowie Böhmen. Diese Mikrolandmassen werden von den Geologen als „Galatian terranes“ bezeichnet und waren Vorboten für das Abdriften Gondwanas Richtung Norden, da sie sich etwas schneller als der eigentliche Kontinent bewegten.
Zu Beginn des Unterdevons (Abb. **5**) lagen die heutigen Karnischen Alpen bei ca. 45° Süd; erst gegen Ende des Mitteldevons erreichten sie tropische Breitengrade (Abb. **7**) und drifteten danach weiter langsam Richtung Norden (Abb. **8**).

9 > Andamento delle temperature dei mari alle basse latitudini (circa fra i 10° e i 30° sud) durante il Devoniano (da Joachimski et al., 2009 modif.).

10 > Da sinistra il massiccio del Monte Coglians, la Creta di Collina, la Cresta Verde, la Creta di Collinetta/ Cellon, l'incisione del Passo di Monte Croce Carnico e le pendici occidentali del Pal Piccolo. Le rocce chiare sono calcari devoniani mentre le aree alle quote minori, con morfologie più morbide, sono in generale costituite dai livelli carboniferi della Formazione dell'Hochwipfel, a volte coperti da depositi morenici.

prendeva il Nord America e l'Europa settentrionale. Sempre in zona equatoriale si trovava un altro piccolo continente, il Kazakhstania, corrispondente ad alcune aree dell'Asia centrale. Le uniche terre emerse che si trovavano nell'emisfero nord formavano i continenti di Siberia e Amuria, entrambi corrispondenti a parti dell'attuale Siberia.
Nel corso del Devoniano (Figg. **6-8**) il Gondwana si spostò progressivamente verso nord, avvicinandosi moltissimo al Laurussia, tanto che l'oceano che li separava, chiamato Oceano Reico, si ridusse moltissimo, arrivando poi a sparire del tutto durante il Carbonifero. Anche la Kazakhstania si spostò verso nord-ovest, avvicinandosi molto alla Siberia.
Le Alpi Carniche costituivano parte del margine settentrionale del Gondwana, insieme ad altre "microzolle" che ora costituiscono il nord Africa e l'Europa centro meridionale: Marocco, parte della Spagna, Francia Meridionale, Sardegna, parte dell'Austria e della Germania, e Boemia. Queste microzolle, chiamate dai geologi "*Galatian terranes*", anticiparono il movimento verso nord del Gondwana, spostandosi un po' più in fretta del continente vero e proprio.
All'inizio del Devoniano Inferiore (Fig. **5**) le Alpi Carniche si trovavano circa a 45° Sud, e raggiunsero latitudini tropicali verso la fine del Devoniano Medio (Fig. **7**), continuando poi a spostarsi lentamente verso nord (Fig. **8**).

11 > Una superficie di faglia, con evidenti forme carsiche, alla base del costone ovest del Monte Peralba.

Il clima

Anche se adesso si percepiscono le variazioni climatiche come qualcosa di eccezionale, il clima sulla Terra è sempre stato in continuo cambiamento. Ci sono stati periodi in cui le temperature medie erano decisamente più elevate di oggi e altri in cui faceva molto più freddo (Fig. **9**).

In generale il Devoniano è stato un periodo per lo più caldo, con temperature in tutta la Terra più alte di quelle attuali. Anche le differenze di temperatura tra i poli e le zone equatoriali erano minori rispetto a oggi. Per quasi tutto il periodo non erano presenti grandi estensioni di ghiaccio, con la sola eccezione della fine del Devoniano, quando sono documentati depositi glaciali in parte dell'attuale Sud America. Il clima era anche molto arido, soprattutto nella zona equatoriale e tropicale.

Studi condotti sui mari tropicali suggeriscono che la temperatura dell'acqua fosse attorno ai 30° nel Devoniano Inferiore. Un raffreddamento di 5°-10° si è verificato nel Devoniano Medio, probabilmente dovuto al calo di anidride carbonica in atmosfera a causa della diffusione delle prime grandi foreste, mentre nel Devoniano Superiore le temperature tornarono a valori simili a quelli dell'inizio del periodo.

Das Klima

Auch wenn wir heutzutage klimatische Veränderungen als etwas Außergewöhnliches empfinden, so hat sich das Klima auf der Erde schon immer kontinuierlich gewandelt. Es gab Zeiten, in denen die durchschnittlichen Temperaturen deutlich wärmer waren als die die von heute, und andere, in denen es sehr viel kälter war (Abb. **9**).

Im Ganzen betrachtet war das Devon ein generell warmes Zeitalter und die Temperaturen lagen weltweit über denen von heute; auch die Temperaturunterschiede zwischen den Polen und den Äquatorialzonen waren geringer als heute. Fast die gesamte Periode hindurch gab es keine großen Gletscherausdehnungen; die einzige Ausnahme bilden dokumentierte Gletscherablagerungen in Teilen des heutigen Südamerikas, die vom Ende des Devons stammen. Das Klima war zudem sehr trocken, insbesondere im Äquatorbereich der tropischen Zonen.

Studien über die tropischen Meere legen nahe, dass die Wassertemperatur im Unterdevon um 30 °C betrug. Im Mitteldevon fand eine vorübergehende Abkühlung um 5°-10° statt, die vermutlich dem sinkenden Kohlendioxidgehalt in der Luft, verursacht durch die sich ausbreitenden ersten großen Wälder, zuzuschreiben ist. Das Oberdevon war hingegen wieder wärmer und die Temperaturen kehrten auf ähnliche Werte wie zu Beginn des Zeitalters zurück.

CARBONIFERO
Penn.
Bashkiriano
Mississippiano
Serpukhoviano
Viseano
Tournaisiano
DEVONIANO
Superiore
Famenniano
Frasniano
Medio
Givetiano
Eifeliano
Inferiore
Emsiano
Pragiano
Lochkoviano
SILURIANO
Pridoli
Ludlow
Ludfordiano
Gorstiano
Wenl.
Homeriano
Sheinwoodiano
Llandovery
Telychiano
Aeroniano
Rhuddaniano
ORDOVICIANO
Superiore
Hirnantiano
Katiano
Sandbiano
Medio
Darriwiliano
Dapingiano
Dimon
Hochwipfel
Kirchbach
Plotta
Pal Grande
Creta di Collina
Zollner
Kellergrat
Spinotti
Polinik
Freikofel
Cellon
Vinz
Hoher Trieb
Valentin
Lambertenghi
Seewarte
Hohe Warte
Kellerwand
Findenig
Seekopf
Rauchkofel
La Valute
Alticola
Cardiola
Kok
Nölbling
Bischofalm
Plöcken
Wolayer
Uqua
Himmelberg
Valbertad
Fleons
Comelico
Val Visdende

IL PALEOZOICO DELLE ALPI CARNICHE

Nelle Alpi Carniche affiora una delle successioni sedimentarie più estese e continue d'Europa; essa comprende rocce depositatesi tra l'Ordoviciano Superiore e il Triassico, con pochissime fasi di interruzione della sedimentazione.
Le rocce del Paleozoico Carnico vengono suddivise in tre grandi sequenze sedimentarie: la "Sequenza Pre-Varisica" (Ordoviciano Medio - base Carbonifero superiore, Fig. **12**), la "Sequenza Permo-Carbonifera" (Carbonifero superiore - Permiano inferiore) e la "Sequenza Permo-Triassica" (Permiano superiore - Triassico). Le rocce devoniane delle Alpi Carniche appartengono quindi alla sequenza Pre-Varisica (Fig. **14**). Essa è l'insieme di quelle rocce che circa 320 milioni di anni fa vennero coinvolte in movimenti tettonici che nel contesto dell'orogenesi Varisica (in passato chiamata Ercinica) portarono alla formazione di una catena montuosa non molto elevata, chiamata "Catena Paleocarnica". Per questa ragione, quasi tutte le rocce di questa successione si presentano molto piegate e talvolta perfino rovesciate (per cui salendo topograficamente si trovano rocce più antiche).
La Catena Paleocarnica venne erosa in un tempo relativamente breve con il ritorno, già dalla fine del Carbonifero, di condizioni marine, in cui si sedimentarono le rocce che costituiscono la "Sequenza Permo Carbonifera". Più recentemente, durante il Cenozoico, tutte le rocce delle tre sequenze furono coinvolte in un altro ciclo orogenetico, l'orogenesi Alpina, che ha definitivamente modellato la struttura delle Alpi come le conosciamo ora.

La sequenza Pre-Varisica

12 > Le formazioni della Sequenza Pre-Varisica delle Alpi Carniche: i nomi indicano le varie formazioni che sono descritte nel testo (da Corradini et al., 2015 modif.).

Le rocce più antiche delle Alpi Carniche si sono depositate durante l'Ordoviciano Superiore, circa 450 milioni di anni fa in un mare poco profondo e relativamente freddo. Nella parte più occidentale del bacino, nell'area del Lago di Volaia, sono presenti arenarie che testimoniano un ambiente di spiaggia sommersa (Formazione di Himmelberg), che passano gradualmente verso l'alto a calcari costituiti principalmente da accumuli di resti di crinoidi e cistoidi, in cui sono presenti anche rari coralli solitari. Nella parte orientale si trovano rocce depositatesi in un mare più aperto: si tratta di peli-

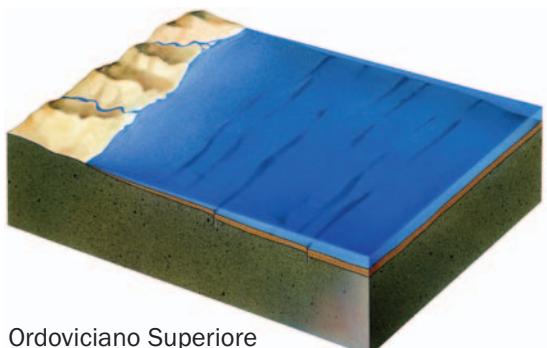
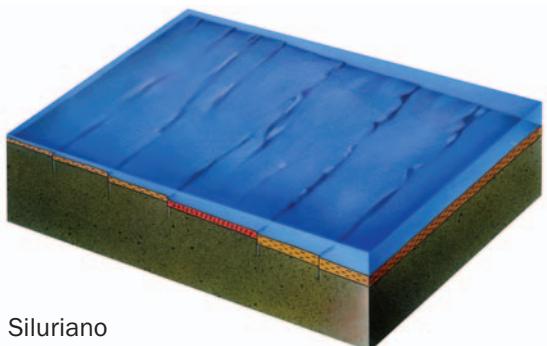
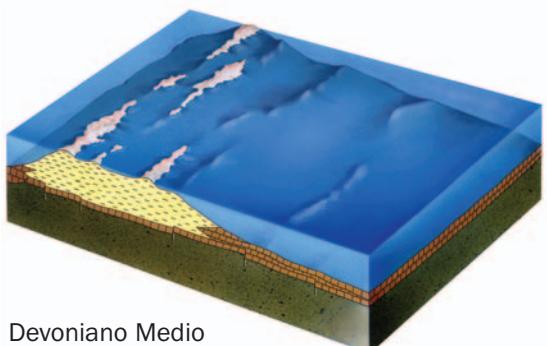
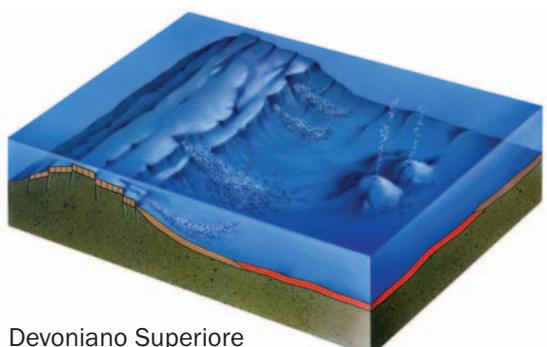
DAS PALÄOZOIKUM DER KARNISCHEN ALPEN

In den Karnischen Alpen befindet sich ein Aufschluss der weitläufigsten und kontinuierlichsten Sedimentabfolgen ganz Europas; sie umfasst Gestein, das sich mit äußerst wenigen Unterbrechungen im Sedimentationsprozess zwischen dem oberen Ordovizium und der Trias ablagerte.
Das Gestein des Karnischen Paläozoikums wird in drei große Sedimentabfolgen unterteilt: die „Prävariszische Abfolge“ (Mittleres Ordovizium - Beginn Oberes Karbon; Abb. **12**), die „Perm-Karbon-Abfolge“ (Oberkarbon - Unterperm) und die „Perm-Trias-Abfolge“ (Oberperm - Trias).
Das Devongestein der Karnischen Alpen gehört demnach zur prävariszischen Abfolge (Abb. **14**). Diese ist die Gesamtheit aller vor etwa 320 Millionen Jahren an tektonischen Bewegungen beteiligten Gesteinen, die im Rahmen der variszischen Orogenese zur Entstehung eines nicht sehr hohen Gebirgszugs namens „Paläokarnische Kette“ führten.
Aus diesem Grund erscheinen fast alle Gesteine dieser Abfolge sehr gefaltet und bisweilen sogar verkehrt herum liegend (topographisch gesehen liegen die älteren Gesteine weiter oben).
Die Paläokarnische Kette erodierte in relativ kurzer Zeit und bereits Ende des Karbons kehrten wieder marine Bedingungen zurück, unter denen sich das Gestein der Perm-Karbon-Abfolge ablagerte. In der jüngeren Erdgeschichte (Känozoikum) waren schließlich alle drei Gesteinsabfolgen an einem weiteren Orogenesezyklus (Alpidische Orogenese) beteiligt, der die Alpen so faltete und formte, wie wir sie heute kennen.

Die Prävariszische Abfolge

Die ältesten Gesteine der Karnischen Alpen lagerten sich vor rund 450 Millionen Jahren im Oberen Ordovizium in einem flachen und relativ kalten Meer ab.
Im westlichsten Bereich dieses Beckens (Gegend um den Wolayersee) gibt es Sandsteine, die von einem unter Wasser liegenden Strandmilieu (Himmelberg-Formation) zeugen; diese gehen nach oben hin langsam in Kalkstein über, der vornehmlich aus Ansammlungen von Crinoiden- und Cystoidenresten besteht, aber auch seltene Solitärkorallen enthält. Im östlichen Teil findet man Gesteinsablagerungen aus dem offenen Meer: Peilte, Sulfite, Sandstein und seltener Konglomerate aus der Valbertad-Formation (auch bekannt als „Uqua-Schiefer“) mit reichem Fossilgehalt, der sich normalerweise in gut abgegrenzten Schichten konzentriert. Zu finden sind Trilobiten, Brachiopoden, Bryozoen, Gastropoden, Cystoiden und Crinoiden. Die Abfolge aus dem Ordovizium geht mit einigen Metern Knotenkalken (Uqua-Formation) und Sandkalken (Plöckenformation) weiter. Letztere belegen eine schrittweise erfolgte Senkung des Meeresspiegels infolge einer großen Vergletscherung, die zwischen dem Ende des

13 > Nell’area del Lago di Volaia, situata a cavallo del confine italo-austriaco, affiora una classica e ben studiata sequenza pre-Varisica: sulla sinistra le pendici del Costone Lambertenghi.

ti, siltiti, arenarie e più rari conglomerati appartenenti alla Formazione di Valbertad (nota anche come "Scisti di Uqua") caratterizzate da abbondante contenuto fossilifero, di norma concentrato in livelli ben definiti. Si ritrovano trilobiti, brachiopodi, briozoi, gasteropodi, cistoidi e crinoidi. La sequenza ordoviciana prosegue con alcuni metri di calcari nodulari (Formazione di Uqua) e arenarie calcaree (Formazione del Plöcken). Quest'ultima unità testimonia il graduale abbassamento del livello marino dovuto a una importante glaciazione, che ha causato l'emersione di gran parte dell'area carnica tra la fine dell'Ordoviciano e l'inizio del Siluriano. La sedimentazione marina è ripresa durante il Siluriano inferiore, anche se in momenti diversi secondo le caratteristiche morfologiche del bacino: il mare, infatti, ha inondato prima le parti più profonde e successivamente quelle meno profonde. Questo processo è durato alcuni milioni di anni e solo verso la fine del Llandovery (circa 330 milioni di anni fa) l'intera area carnica era di nuovo completamente coperta dal mare.
Durante il Siluriano e il Devoniano Inferiore si sono depositate due tipi di rocce: argilliti nere (comunemente chiamate "scisti neri") e calcari. Le argilliti nere sono tipiche delle aree più profonde, dove i fondali oceanici erano poveri di ossigeno e di vita. Gli unici fossili abbondanti sono i graptoliti, organismi coloniali estinti imparentati con gli attuali pterobranchi. Le rocce carbonatiche del Siluriano sono in genere note con il nome di "Calcari a Orthoceras", per l'abbondante contenuto di fossili di cefalopodi ortoceratidi, e si sono depositate in un mare tranquillo e relativamente poco profondo, ma lontano da terre emerse. Oltre ai nautiloidi, sono relativamen-

14 > Ricostruzioni ambientali del settore carnico dall'Ordoviciano al Devoniano.

te abbondanti i bivalvi, mentre sono più rari i resti fossili di trilobiti e brachiopodi.
All'inizio del Devoniano le condizioni del bacino carnico rimasero simili a quelle del Siluriano superiore, ma già pochi milioni di anni dopo, verso la fine del Lochkoviano, iniziarono a svilupparsi grandi differenze tra le varie aree, che si accentuarono sempre più durante il Devoniano Inferiore: a partire dall'Emsiano, circa 400 milioni di anni fa, nelle parti meno profonde del bacino carnico si svilupparono grandi costruzioni carbonatiche (scogliere), mentre nelle parti più profonde proseguiva la sedimentazione in acque tranquille. Nelle parti intermedie si depositavano grandi frane dovute a crolli delle parti più esterne degli edifici carbonatici. Le scogliere ebbero la loro massima diffusione durante il Devoniano Medio, e perdurarono anche all'inizio del Devoniano Superiore, fino a circa 380 milioni di anni fa, quando una serie di variazioni del livello del mare e la ripresa di una forte attività sismica ne provocarono la scomparsa. Le rocce del Devoniano Superiore e dell'inizio del Carbonifero sono quasi esclusivamente costituite da calcari pelagici, noti con il nome di "Calcari a Clymenie", dal nome di un gruppo di ammonoidi caratteristico del periodo.
Analizzeremo in dettaglio il Devoniano delle Alpi Carniche nel prossimo capitolo.
Durante il Carbonifero inferiore il bacino carnico fu interessato da forti movimenti tettonici che portarono ad approfondimenti di alcune zone ed emersioni di altre. Grandi frane sottomarine staccatesi dalle zone meno profonde fecero sì che nelle aree bacinali si accumulassero spesse sequenze di brecce, conglomerati,

15 > Affioramento di rocce vulcaniche della Formazione del Dimon al Pizzo del Corvo.

16 > La zona orientale dei Piani di Lanza, verso la Creta di Aip, presenta estesi affioramenti delle sequenze Permo-Carbonifera e Permo-Triassica. La Creta di Aip è costituita anche da depositi di scogliera del Permiano inferiore: erano biocostruzioni costiere e non più intraoceaniche, quindi meno estese e diverse da quelle devoniane.

17 > Nell'area di Pramollo affiora estesamente la sequenza Permo-Carbonifera. Il Monte Auernig mostra l'evidente alternanza fra depositi arenacei e banconi di conglomerato del Carbonifero superiore. A destra, sullo sfondo il Monte Gartenkofel costituito in prevalenza da calcari triassici.

arenarie e peliti. Queste rocce appartengono oggi alla Formazione del Hochwipfel. Verso la metà del Carbonifero, in contemporanea alla deposizione delle frane, si verificarono fenomeni vulcanici sottomarini, testimoniati dalle grandi quantità di roccia vulcanica (Formazione del Dimon, Fig. **15**) oggi presenti nel versante italiano delle Alpi Carniche tra Forni Avoltri e Paularo.

Queste condizioni permasero fino a circa 310 milioni di anni fa, quando, durante il Moscoviano, l'Orogenesi Varisica segnò la conclusione della sequenza sedimentaria Pre-Varisica delle Alpi Carniche (Fig. **20**).

Ordoviziums und dem Beginn des Silurs zum Auftauchen eines großen Teils des karnischen Gebiets führte.
Die marine Sedimentation begann erst im Untersilur wieder, jedoch aufgrund der morphologischen Eigenschaften des Beckens zu unterschiedlichen Zeitpunkten; das Meer überschwemmte zuerst die tieferen Bereiche und später die flacheren Zonen.
Dieser Vorgang dauerte einige Millionen Jahre und erst am Ende der Llandovery-Serie (vor rund 330 Millionen Jahren) war das gesamte Gebiet Karniens wieder vollständig vom Meer bedeckt.
Im Silur und im Unterdevon lagerten sich zweierlei Gesteinsarten ab: schwarzer Tonschiefer (Argilit) und Kalke. Schwarzer Argilit stammt typischerweise aus tieferen Bereichen, wo die Meeresböden arm an Sauerstoff und Leben waren. Die einzigen, häufig zu findenden Fossilien sind Graptoliten - ausgestorbene, Kolonie bildende Organismen, die mit den heutigen Flügelkiemern (Pterobranchia) verwandt sind. Das Karbonatgestein aus dem Silur wird aufgrund des hohen Gehalts an orthoconen Nautilidenfossilien gemeinhin auch als „Orthocerenkalk" bezeichnet; es lagerte sich in einem ruhigen und relativ flachen Meer, aber fernab aller Landmassen ab. Neben den Nautiliden kommen auch Bivalven recht häufig vor, während Trilobiten- und Brachiopoden-fossilien seltener sind.
Zu Beginn des Devons blieben die Bedingungen im Karnischen Becken ähnlichen denen im Obersilur; doch bereits wenige Millionen Jahre später, gegen Ende des Lochkoviums entstanden große Unterschiede zwischen den einzelnen Bereichen, die sich im Unterdevon immer mehr verstärkten: ab dem Ems, vor ca. 400 Millionen Jahren, entstanden in den flacheren Bereichen des karnischen Beckens große Karbonatgebilde (Korallenriffe), während in den tieferen Bereichen die Sedimentation in ruhigem Wasser weiter ging.

18 > Il Monte Cavallo di Pontebba, visto dal Monte Malvuerich, costituito da calcari devoniani; a destra sullo sfondo la Creta di Aip con i livelli della sequenza Permo-Carbonifera e Permo-Triassica.

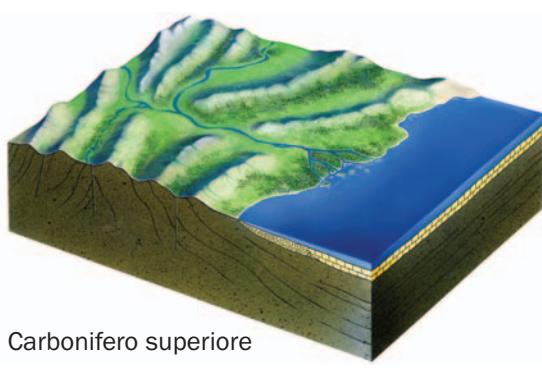
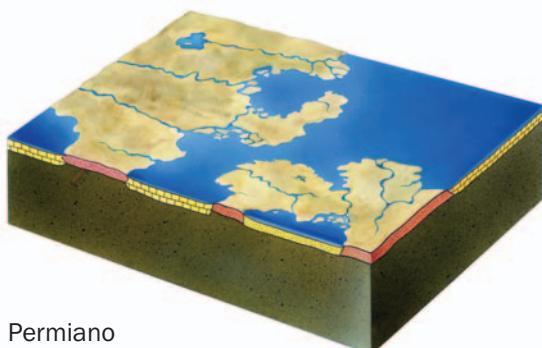
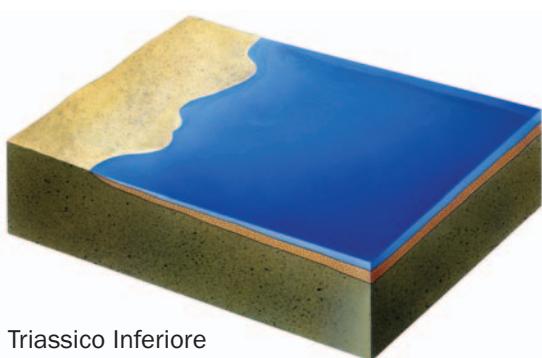
La sequenza Permo-Carbonifera e la Sequenza Permo-Triassica

L'Orogenesi Varisica provocò la formazione di un catena montuosa poco elevata (Catena Paleocarnica), che si riflette - nella sequenza rocciosa delle Alpi Carniche - in un intervallo non documentato. Infatti la sedimentazione, è in prima approssimazione, un fenomeno continuo nei mari, mentre sui continenti avviene soprattutto erosione. I prodotti dell'erosione vengono trasportati dai fiumi fino ai mari dove si depositano nuovamente nei grandi delta fluviali.

La sequenza Permo-Carbonifera è costituita da una alternanza di sedimenti di origine fluviale-deltizia e più francamente marini, conseguenza di frequenti variazioni del livello del mare collegati a una grande glaciazione sviluppatasi tra la fine del Carbonifero e l'inizio del Permiano (Figg. **16-17**).

I primi depositi successivi all'orogenesi Varisica sono brecce e conglomerati, prodotti dall'erosione della Catena Paleocarnica, seguiti da depositi clastici fluvio-deltizi alternati a calcari di mare poco profondo. A partire dalla fine del Carbonifero e per tutto il Permiano inferiore l'area carnica era nuovamente coperta dal mare, come testimoniano gli abbondanti depositi calcarei che culminarono verso la fine del Permiano inferiore con la formazione di nuove scogliere, che non raggiunsero però le dimensioni di quelle devoniane.

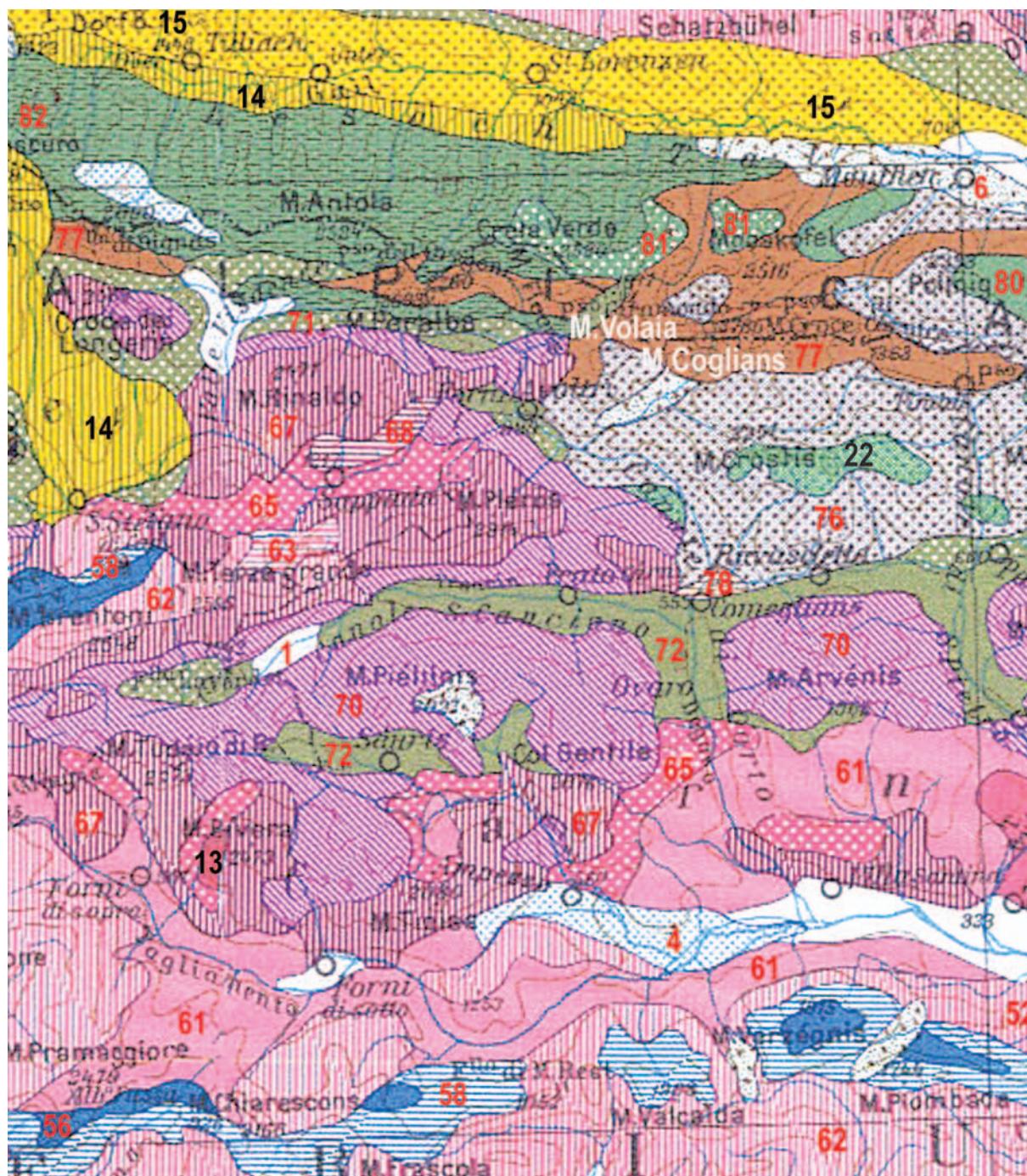
Durante il Permiano medio una nuova fase tettonica compressiva provocò ampie emersioni nell'area carnica, evidenziate, per esempio, da fenomeni carsici sui calcari del Permiano inferiore.

Le successive rocce del Permiano superiore sono costituite da sedimenti principalmente continentali (Arenarie di Val Gardena), seguiti da depositi evaporitici, lagunari e marini poco profondi (Formazione a Bellerophon), che indicano alla fine del Paleozoico una lenta risalita del livello dei mari.

19 > Ricostruzioni ambientali del settore carnico dal Carbonifero all'inizio del Triassico.

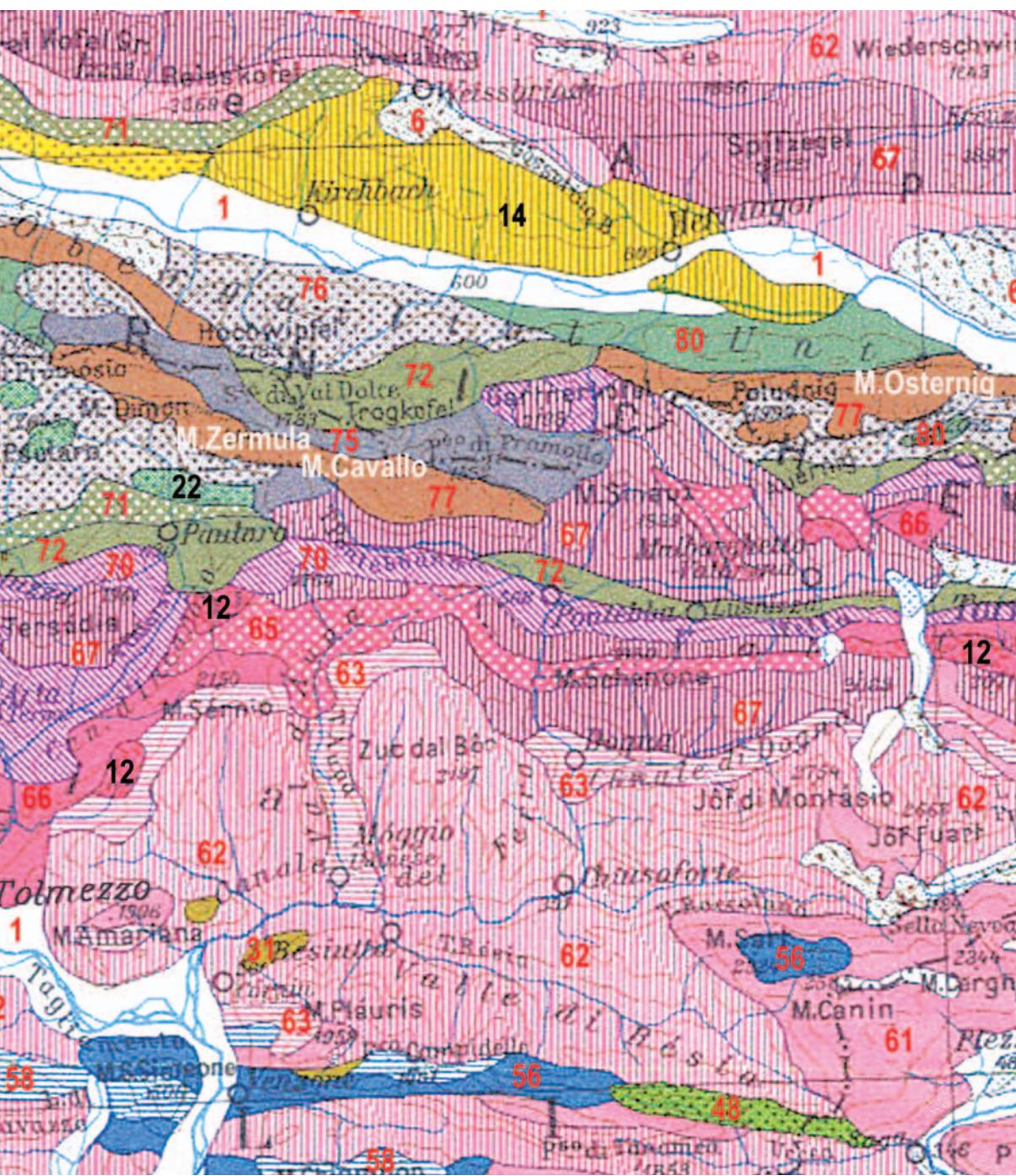
20 > Il Gamspitz e la Creta di Timau mostrano i segni dell’Orogenesi Varisica e di quella Alpina.

In den dazwischen liegenden Zonen lagerten sich große Erdmassen aus Abbrüchen der äußersten Randbereiche der Karbonatgebilde ab. Die Korallenriffe hatten ihre größte Verbreitung im Mitteldevon und überdauerten bis zum Beginn des Oberdevons, vor ca. 380 Millionen Jahren, als eine Reihe globaler Veränderungen des Meeresspiegels, gepaart mit einer erneuten starken seismischen Aktivität zu ihrem Aussterben führte. Das Gestein aus dem Oberdevon und dem beginnenden Karbon besteht fast ausschließlich aus pelagischen Kalken, die nach einer für die Zeitspanne typischen Ammonidengruppe benannt sind („Clymenienkalk").
Das Devon der Karnischen Alpen wird in den folgenden Kapiteln näher analysiert.
Im Unterkarbon war das karnische Becken Schauplatz starker tektonischer Bewegungen, die zur Absenkung bzw. dem Auftauchen einiger Zonen führten. Große unterseeische Erdrutsche aus Abbrüchen der flacheren Teile führten dazu, dass sich in Beckenbereichen häufig Brekzien-, Konglomerat-, Sandstein- und Pelitabfolgen ansammelten; sie gehören heute zur Hochwipfel-Formation. Gegen Mitte des Karbons und zeitgleich mit der Ablagerung der Abbruchmassen kam es zu unterseeischen Vulkanausbrüchen, wie große Mengen an Vulkangestein belegen (Dimon-Formation, Abb. **15**), die heute auf der italienischen Seite der Karnischen Alpen zwischen Forni Avoltri und Paularo zu finden sind.
Diese Bedingungen dauerten bis vor etwa 310 Millionen Jahren an, als die variszische Orogenese den Abschluss der prävariszischen Sedimentabfolge der Karnischen Alpen markierte (Abb. **20**).

Die Perm-Karbon-Abfolge und die Perm-Trias-Abfolge

Die variszische Orogenese führte zur Entstehung einer nicht sehr hohen Gebirgskette, die – im Falle der Gesteinsabfolge der Karnischen Alpen – ein nicht dokumentiertes Intervall wiederspiegelt. In der Tat ist die Sedimentation in erster Linie ein ständig ablaufendes Phänomen der Meere, während auf den Kontinenten vorwiegend Erosion stattfindet. Die Erosionsprodukte werden von den Flüssen ins Meer gespült, wo sie sich in den großen Flussdeltas erneut ablagern.
Die Perm-Karbon-Abfolge besteht aus abwechselnden Sedimentschichten aus Fluss-, Delta- und auch Meeresbereichen, als Folge der häufigen Meeresspiegelschwankungen in Verbindung mit einer großen Vergletscherung zwischen Ende des Karbons und Beginn des Perms (Abb. **16-17**).
Bei den ersten Ablagerungen nach der variszischen Orogenese handelt es sich um Brekzien und Konglomerate (Erosionsprodukte der Paläokarnischen Kette), es folgen deltaisch fluviatile Klasten in Wechsellagerung mit Flachmeerkalken. Ab dem Ende des Karbons und das gesamte Unterperm hindurch war Karnien erneut vom Meer bedeckt, wie umfassende Kalkablagerungen belegen, die gegen Ende des Unterperms mit der Entstehung neuer Riffe ihren Höhepunkt finden, aber niemals die Größe der Devonriffe erreichten.
Während des Perms führte eine erneute kompressive Tektonikphase zum Auftauchen weiter Teile Karniens, wie beispielsweise Verkarstungen auf den Kalken des Unterperms belegen.
Das darauffolgende Gestein aus dem Oberperm besteht aus überwiegend kontinentalen Sedimenten (Grödner Sandstein), gefolgt von evaporitischen, lagunaren und flachmarinen Ablagerungen (Bellerophon-Formation), die am Ende des Paläozoikums auf einen langsamen Wiederanstieg der Meeresspiegel schließen lassen.

21 > Carta geologica semplificata, scala 1:250.000 (dalla carta Geologica d’Italia alla scala 1:500.000 - Servizio Geologico d’Italia, modif.).

numeri rossi

1 - Depositi sciolti recenti e attuali
2 - Depositi sciolti del Pleistocene
31- Calcareniti dell’Eocene-Paleocene
44, 46 - Calcari del Cretaceo
48 - Flysch del Cretaceo
56, 58 - Calcari del Giurassico
61 - Calcari e calcari dolomitici del Triassico superiore (Calcare del Dachstein, Dolomia di Forni...)
62 - Dolomie del Triassico superiore (Dolomia Principale...)
63 - Calcari e calcari marnosi del Triassico superiore (Fm. di Raibl...)
65 - Conglomerati prevalenti del Triassico superiore-medio
66, 68 - Calcari prevalenti del Triassico medio
70 - Calcari e arenarie del Triassico inferiore

71 - Arenarie prevalenti del Permiano (Arenarie di Val Gardena)

72 - Calcari prevalenti del Permiano (Fm. a Bellerophon, Gruppo Trogkofel...)

75 - Calcari prevalenti con arenarie del Carbonifero (Gruppo dell'Auernig...)

76 - Depositi tipo flysch del Carbonifero (Fm. Hochwipfel e del Dimon)

77 - Calcari del Devoniano (anche debol. metamorfosati)

80 - Calcari del Siluriano-Devoniano

81 - Depositi prevalentemente arenacei dell'Ordoviciano-Siluriano

82 - Argilloscisti (Formazione Val Visdende e Fleons...) Siluriano?

numeri neri

12, 13 - Vulcaniti del Triassico medio e superiore

14, 15 - Metamorfiti di basso e medio grado

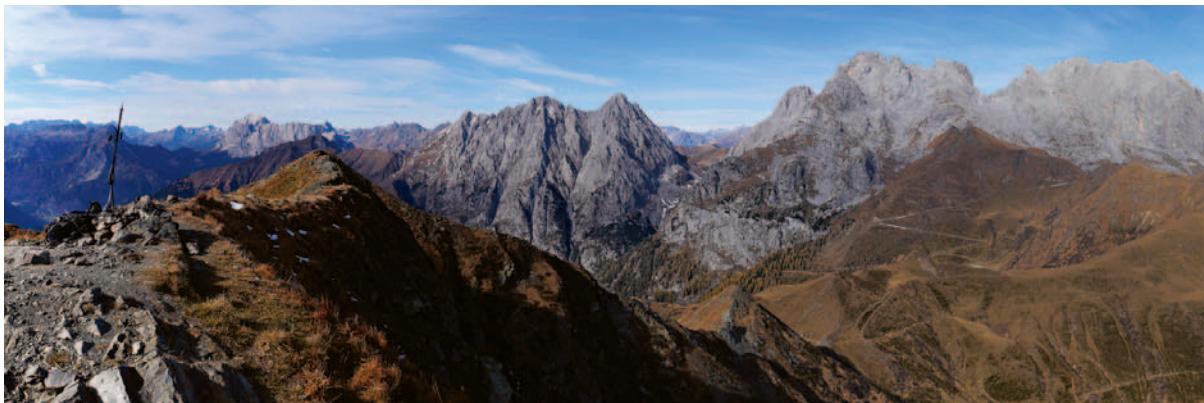
22 - Vulcaniti del Carbonifero.

IL DEVONIANO DELLE ALPI CARNICHE

Durante il Devoniano il bacino delle Alpi Carniche era molto dinamico, con grandi variazioni nel tipo e nello spessore dei depositi anche a breve distanza: nelle parti meno profonde si depositarono grandi accumuli di resti organici, mentre in quelle più profonde proseguiva la sedimentazione in acque tranquille. Nelle parti intermedie si depositarono grandi frane, generate dal crollo delle parti più esterne degli edifici carbonatici, intercalate a sedimenti di mare aperto. La gran parte delle rocce del Devoniano carnico sono ricche di resti fossili.
Come abbiamo visto, però, il Devoniano è durato circa 60 milioni di anni, per cui è naturale che ci fossero differenze ambientali nell'area carnica tra l'inizio, la parte mediana e la fine del periodo e che queste differenze si riflettano nella varietà di rocce che testimoniano queste vicende geologiche e dei fossili che esse conservano.
Percorreremo quindi un viaggio nel Devoniano delle Alpi Carniche in senso cronologico (o, come direbbero più correttamente i geologi, cronostratigrafico), partendo… dall'inizio.

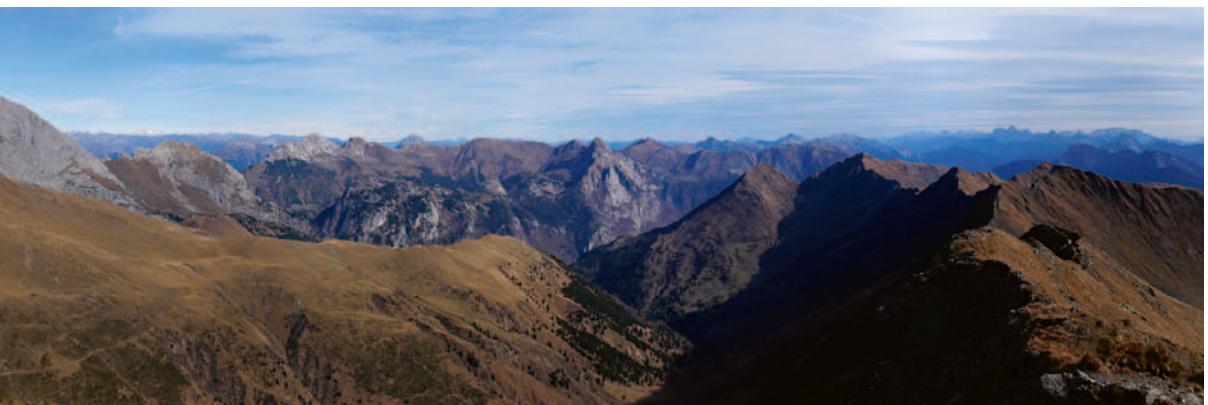
L'inizio del Devoniano

All'inizio del Devoniano, circa 420 milioni di anni fa, tutta l'area carnica era coperta da un mare poco profondo, ma distante da terre emerse. In generale il bacino era piuttosto uniforme, con poche variazioni di profondità.
Nelle aree meno profonde si depositavano accumuli di resti delle parti dure di organismi. Si tratta soprattutto di crinoidi e brachiopodi, insieme a più rari bivalvi, trilobiti, gasteropodi, cefalopodi e coralli, spesso triturati dalle mareggiate, e quindi difficilmente riconoscibili. Questi calcari bioclastici chiari appartengono alla Formazione del Seekopf e sono presenti solo nell'area del Lago di Volaia. I migliori punti di osservazione si trovano all'inizio del sentiero che porta al Monte Capolago, lungo una trincea della Prima Guerra Mondiale, e all'inizio della Val Volaia, alla base della Cima Lastrons del Lago.
Spostandosi verso Est le rocce della stessa età sono più scure e sono costituite da una alternanza di calcari, peliti e più rare brecce: appartengono alla

22 > Il Monte Peralba visto da sud: come il vicino Monte Avanza è costituito da calcari devoniani debolmente metamorfosati.

23 > La Catena Carnica dai Monti Peralba e Avanza alla Creta di Timau: al centro, il massiccio del Coglians.

Formazione del Rauchkofel. Lo spessore è molto variabile, secondo le diverse parti del bacino, e varia da pochi a oltre 120 metri. I fossili sono comuni, in generale concentrati in alcuni livelli: si trovano abbondanti cefalopodi nautiloidei, graptoliti, brachiopodi, trilobiti e vari gruppi di microfossili. Alla base della formazione è presente un livello caratterizzato dalla presenza di loboliti, i particolari resti di un gruppo di crinoidi che viveva flottando liberamente nei mari di tutta la Terra. Queste rocce sono abbastanza diffuse in tutta l'area carnica, ma sono particolarmente abbondanti tra Passo di Monte Croce Carnico e il Monte Coglians (Fig. **23**), dove costituiscono la parte inferiore dell'imponente parete nord della Creta delle Chianevate, e tra il Pal Piccolo e il Freikofel.

A differenza dei mari attuali, dove le acque sono ben ossigenate anche a grandi profondità, durante il Paleozoico i mari erano molto stratificati, con acque stagnanti e povere di ossigeno già a profondità relativamente basse. Ciò era dovuto alla posizione dei continenti che ostacolava la circolazione e il rimescolamento delle acque. Queste condizioni particolari fecero sì che gli animali e le piante marini fossero abbondanti nelle aree ben ossigenate, mentre non potevano vivere nelle zone anche di poco più profonde. Queste differenze del bacino si riflettono anche nelle rocce che oggi possiamo studiare: nelle aree ben ossigenate, ricche di vita, si sono depositati calcari, spesso contenenti abbondanti resti fossili degli organismi che vivevano sui fondali; nelle aree in cui le acque di fondo non erano ossigenate si sono depositate peliti nere, in cui i fossili sono costituiti quasi esclusivamente da graptoliti, organismi coloniali che vivevano flottando nel mare e che, una volta morti, cadevano sul fondo. Anche nelle Alpi Carniche sono presenti abbondanti depositi anossici, costituiti da scisti neri (Formazione del Bischofalm), a volte intercalati a calcari scuri (Formazione di Nölbling). Queste rocce sono particolarmente diffuse in una fascia disposta all'incirca da nord a sud nella parte centrale delle Alpi Carniche, tra Griminitzen e La Valute.

Già dopo pochi milioni di anni la fascia intermedia iniziò a differenziarsi: mentre nelle parti meno profonde continuava la deposizione della Formazione del Rauchkofel, in quelle appena più distali (di mare più aperto) ini-

La maggior parte di queste cime, dall'aspetto aspro, è costituita da calcari del Devoniano.

DAS DEVON DER KARNISCHEN ALPEN

Im Devon war das Becken der Karnischen Alpen sehr dynamisch: selbst auf kurze Entfernungen finden sich große Unterschiede hinsichtlich der Art und Mächtigkeit der Ablagerungen. In den flacheren Bereichen lagerten sich große Mengen organischer Überreste ab, während in tieferen Bereichen die Sedimentation in ruhigem Wasser weiter ging. In den dazwischen liegenden Zonen finden sich Ablagerungen großer Abbruchmassen von den äußersten Randbereichen der Karbonatgebilde, die von marinen Sedimenten unterbrochen sind. Der Großteil der Gesteine aus dem Karnischen Devon ist sehr fossilienreich. Angesichts der Tatsache jedoch, dass das Devon rund 60 Millionen Jahre dauerte, ist es ganz natürlich, dass es im karnischen Gebiet Milieuunterschiede zwischen Beginn, Mitte und Ende der Periode gab; und eben diese Unterschiede spiegeln sich in den Gesteinsarten wieder, welche die geologischen Ereignisse belegen, und in der Vielfalt der darin eingeschlossenen Fossilien. Unsere Reise führt uns ins Devon der Karnischen Alpen; wir folgen dem chronologischen oder - wie es aus Sicht der Geologen korrekt heißen muss - dem chronostratigrafischen Verlauf ihrer Geschichte und starten ... vom Anfang an.

Der Beginn des Devons

Zu Beginn des Devons, vor zirka 420 Millionen Jahren, war das gesamte Gebiet Karniens von einem seichten Meer bedeckt und befand sich fern von Landmassen. Im Großen und Ganzen war das Becken recht gleichförmig und die Tiefe variierte nur gering. In den flacheren Bereichen lagerten sich Anreicherungen der Überreste der harten Bestandteile von Lebewesen ab. Es handelt sich vor allem um Seelilien und Haarsterne und Armfüßer, seltener auch um Muscheln, Trilobiten, Schnecken, Kopffüßer und Korallen, die häufig vom Seegang und starken Meeresbewegungen zermahlen wurden und somit nur schwer erkennbar sind. Diese hellen Bioklastkalke gehören der Seekopf-Formation an und sind ausschließlich im Gebiet des Wolayersees zu finden. Die besten Beobachtungspunkte befinden sich am Anfang des Wanderwegs zum Monte Capolago entlang eines Schützengrabens aus dem Ersten Weltkrieg, sowie am Eingang des Wolayertals am Fuße von Cima Lastrons del Lago. Weiter östlich ist das Gestein gleichen Alters dunkler und besteht aus Wechsellagerungen von Kalken, Peliten und Brekzien (seltener) und gehört zur sog. Rauchkofel-Formation. Die Mächtigkeit ist je nach Beckenbereich sehr unterschiedlich und schwankt zwischen wenigen Metern und über 120 Metern. Fossilien sind verbreitet und normalerweise in einigen Schichten konzentriert: häufig sind Nautiliden, Graptolithen, Brachiopoden, Trilobiten und verschiedene Gruppen von Mikrofossilien zu finden. Am Boden der Formation befindet sich eine Schicht mit Lobolithen (Überreste des ballonförmigen Wurzelapparats einer bestimmten Crinoidengattung, mit dessen Hilfe sie frei durch die Weltmeere schwebten). Dieses Gestein ist im gesamten karnischen Gebiet weit verbreitet, kommt jedoch besonders häufig zwischen dem Plöckenpass und der Hohen Warte (Abb. **23**) vor, wo es den unteren Teil der mächtigen Nordwand der Kellerspitzen bildet, sowie zwischen dem Kleinen Pal und dem

24 > Vista da sud del massiccio del Monte Coglians.

Freikofel. Im Unterschied zu den heutigen Meeren, in denen das Wasser auch in großen Tiefen gut mit Sauerstoff versetzt ist, waren die Meere im Paläozoikum stark geschichtet mit stehenden und sauerstoffarmen Gewässern bereits in geringen Tiefen. Grund hierfür war die Lage der Kontinente und die damit einhergehende schlechte Zirkulierung und Durchmischung des Wassers. Diese schlechten Bedingungen führten dazu, dass die meeresbewohnenden Tiere und Pflanzen in sauerstoffreichen Zonen reichlich vorkamen, jedoch selbst in den nicht sehr viel tieferen Bereichen nicht leben konnten. Diese Unterschiede des Beckens lassen sich auch am Gestein ablesen, das wir heute untersuchen: in den gut mit Sauerstoff versorgten, lebensreichen Bereichen lagerten sich Kalke mit häufig hohem Gehalt an fossilen Überresten von Organismen ab, die auf dem Meeresboden lebten; in jenen Bereichen, in denen die bodennahen Gewässer nicht mit Sauerstoff versorgt waren, lagerten sich schwarze Pelite ab, in denen der Fossiliengehalt fast ausschließlich aus Graptolithen (kolonienbildende Organismen, die durch die Meere schwebten und nach ihrem Verenden auf den Meeresboden sanken) besteht. Auch in den Karnischen Alpen gibt es große anoxische Ablagerungen: sie bestehen aus schwarzem Schiefer (Bischofalm-Formation), der bisweilen von schwarzem Kalk unterbrochen ist (Nölbling-Formation). Dieses Gestein ist besonders in einem von Nord nach Süd verlaufenden Bogen im Zentralbereich der Karnischen Alpen, zwischen Griminizen und der Meledis-Hütte verbreitet. Bereits nach wenigen Jahrmillionen begann sich die mittlere Schicht zu unterscheiden: während in den flacheren Bereichen die Ablagerung der Rauchkofel-Formation weiterging, begann in den nur wenig tieferen (offshore) Zonen die Ablagerung heller, pelagischer Knotenkalke, die heute zur La Valute-Formation gehören. Fossilien sind selten und bestehen fast ausschließlich aus pelagischen, in der Regel schlecht erhaltenen Organismen wie Nautiliden, Tentakuliten und Conodonten. Die La Valute-Formation ist rund 20 Meter mächtig und vor allem im Gebiet des Rauchkofels, zwischen Hoher Trieb und Monte Pizzul und dem Monte Cocco weiter östlich verbreitet.

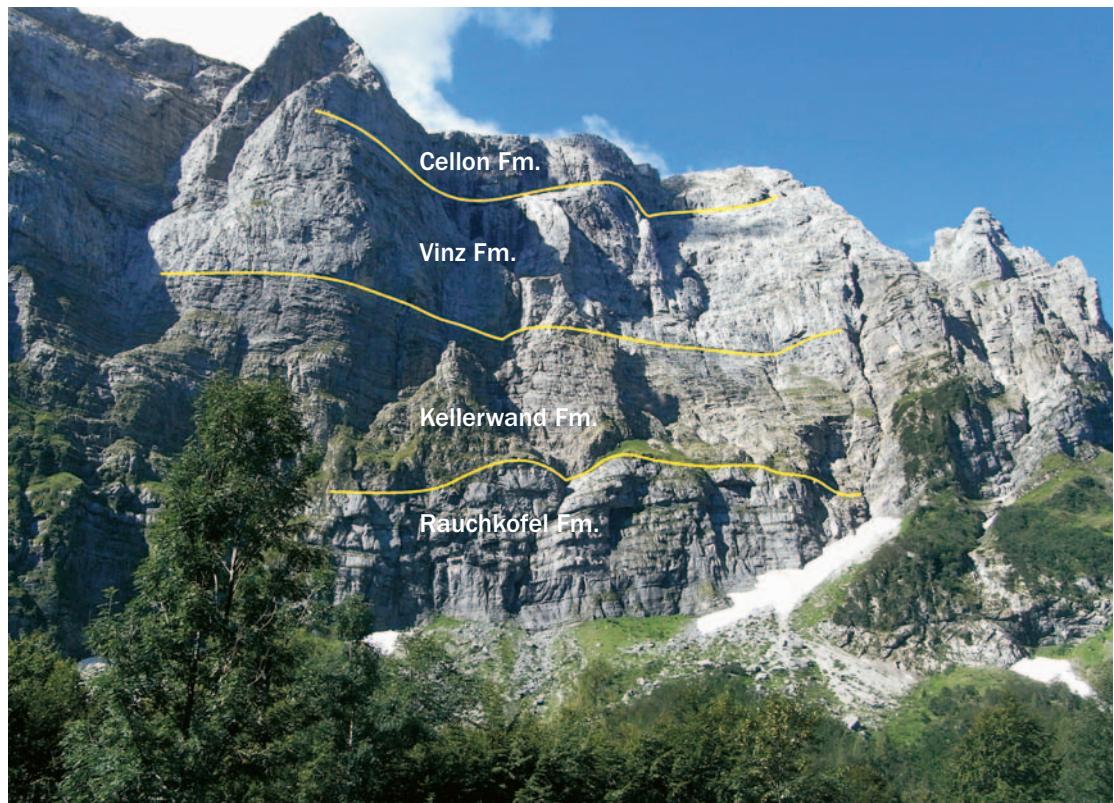
ziarono a depositarsi i calcari nodulari pelagici chiari, che oggi appartengono alla Formazione de La Valute. I fossili sono rari e costituiti quasi esclusivamente da organismi pelagici, in generale non ben conservati: cafalopodi nautiloidei, tentaculiti e conodonti. La Formazione de La Valute ha uno spessore di circa 20 metri ed è diffusa soprattutto nell'area del Monte Rauchkofel, tra il Cuestalta e Monte Pizzul e più a est a Monte Cocco.

Devoniano Inferiore e Medio

A partire dall'inizio del Pragiano, circa 410 milioni di anni fa, la morfologia del bacino carnico iniziò a cambiare, accentuando le differenze tra le aree meno profonde e quelle di mare aperto: nelle parti meno profonde si depositarono grandi accumuli di resti organici, mentre in quelle più profonde proseguiva la sedimentazione tipica di acque tranquille. A partire dall'Emsiano (circa 405 milioni di anni fa) si svilupparono grandi costruzioni carbonatiche (scogliere), che ebbero la massima diffusione durante il Devoniano Medio, e perdurano anche all'inizio del Devoniano Superiore, fino a circa 380 milioni di anni fa. Oltre ai corpi di scogliera biocostruiti, nelle Alpi Carniche sono conservati anche i depositi degli ambienti collegati alla scogliera: nelle parti interne, protette dalla scogliera, si è depositata una varietà di sedimenti di laguna e di piana di marea, ognuno con strutture sedimentarie e contenuto fossilifero caratteristici; verso il mare aperto, i sedimenti sono costituiti principalmente da materiali grossolani, brecce e calcareniti, derivati da crolli delle parti più esterne della scogliera intercalati a depositi di mare aperto.

Le grandi scogliere e gli ambienti collegati

Nelle Alpi Carniche sono presenti i resti di quattro grandi scogliere devoniane, che oggi

25 > La Cresta Verde, i monti Creta di Collinetta/Cellon, Pal Piccolo, Cuelat/Freikofel e, sullo sfondo, Polinik (in Austria) visti da Casera Lavareit.

26 > La parete nord della Creta della Chianevate/Kellerspitzen è costituita da una successione continua di rocce del Devoniano Inferiore e Medio, appartenenti a quattro formazioni che si susseguono nel tempo.

Unteres und Mittleres Devon

Mit Beginn des Pragiums vor rund 410 Millionen Jahren begann sich auch die Morphologie des karnischen Beckens zu verändern und die Unterschiede zwischen den flacheren Bereichen und dem offenen Meer wurden deutlicher. In den Flachbereichen lagerten sich große Mengen organischer Überreste ab, während im tieferen Wasser weiterhin die für ruhige Gewässer typische Sedimentation stattfand. Ab dem darauffolgenden Emsium (vor ca. 405 Millionen Jahren) entstanden große Karbonatgebilde (Korallenriffe), die ihre maximale Verbreitung während des Mitteldevons hatten und sogar bis Anfang des Oberdevons, vor etwa 380 Millionen Jahren, andauerten. Neben den von lebenden Organismen erbauten Riffkörpern sind in den Karnischen Alpen auch die Sedimente aus den mit den Riffen verbundenen Milieus erhalten. In den inneren, vom Riff geschützten Bereichen lagerten sich verschiedene Sedimente aus der Lagune und der Gezeitenzone ab, die jeweils eigene Sedimentstrukturen und typischen Fossilgehalt besitzen. In der Offshore-Zone bestehen die Sedimente hauptsächlich aus gröberem Material, Brekzien und Kalkareniten, die von Abbrüchen der außenliegenden Riffbereiche stammen und sich mit Ablagerungen aus dem offenen Meer abwechseln.

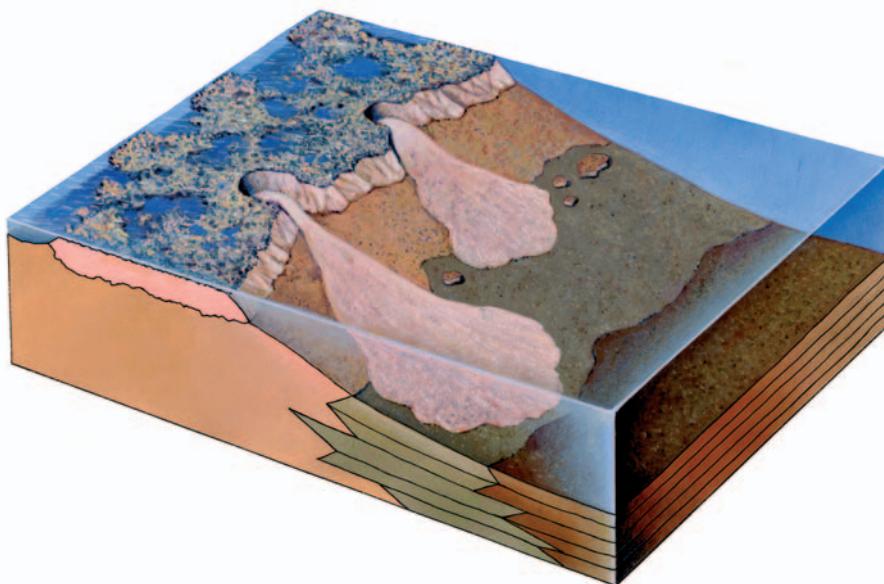
Die großen Riffe und verbundenen Milieus

In den Karnischen Alpen befinden sich die Überreste von vier großen Devonriffen; sie bilden heute den Bergstock Hohe Warte sowie die Berge Wolayer Kopf, Monte Zermula, Roßkofel (Pontebba) und Oisternig (Abb. **21**). Dabei handelt es sich um riesige Mengen an Sedimenten, die sich über einen Zeitraum von gut 30 Millionen Jahren ablagerten und deren Schicht in der Gegend vom Wolayersee mehr als 1 km mächtig ist; dies macht sie europaweit zu einem der besten Beispiele für die größten Korallenriffe aus dem Devon. Der damalige Lebensraum ähnelte denen, die heute im

27 > Nel versante nord della Val Volaia affiorano rocce del Devoniano Medio e Superiore (Formazioni del Valentin e del Pal Grande).

costituiscono - da occidente a oriente - il massiccio del Monte Coglians e i Monti di Volaia, il Monte Zermula, il Monte Cavallo di Pontebba e il Monte Osternig (Fig. **21**). Si tratta di enormi quantità di sedimenti depositatisi in oltre 30 milioni di anni, che nell'area del Lago di Volaia superano 1 km di spessore e costituiscono la massima espressione di quelle che sono considerate le più grandi scogliere devoniane d'Europa. Possiamo immaginare un ambiente simile a quello che oggi si trova nella Grande Barriera Corallina australiana o negli atolli dell'Oceano Pacifico, dove si distinguono la scogliera vera e propria, ricca di organismi e di vita e tranquilli ambienti protetti costituiti da lagune all'interno della scogliera. Come oggi, anche durante il Devoniano le scogliere si sviluppavano in ambienti poco profondi, dove le acque erano limpide e calde.

I depositi di scogliera sono rappresentati principalmente da calcari massivi, con stratificazione per lo più assente, caratterizzati da una grande abbondanza e diversità di fossili, accumulatisi nel tempo gli uni sopra agli altri.

Nelle scogliere devoniane delle Alpi Carniche sono abbondanti vari tipi di coralli, alghe calcaree e spugne; significativa è anche la presenza di bivalvi, brachiopodi, crinoidi, gasteropodi, ostracodi, cefalopodi, trilobiti, calcisfere e foraminiferi. Alcuni si sono con-

28 > Ricostruzione dell'ambiente deposizionale dell'area carnica durante il Devoniano Medio.

Great Barrier Reef in Australien oder den Atollen im Pazifischen Ozean anzutreffen sind, wo zum einem der eigentliche Riffbereich mit seinem üppigen Lebensreichtum und andererseits die ruhigen und geschützten Lagunenbereiche innerhalb der Riffe vorhanden sind. Damals wie heute entstanden auch im Devon die Riffe in flachen Meeresbereichen mit klaren und warmen Gewässern. Die Riffablagerungen bestehen hauptsächlich aus massiven Kalken - meist mit fehlender Schichtbildung - mit reichem und vielfältigem Gehalt an Fossilien, die sich im Laufe der Zeit übereinander ablagerten. In den Devonriffen der Karnischen Alpen kommen besonders häufig verschiedene Korallenarten, Kalkalgen und Schwämme vor; bedeutend sind auch die Vorkommen von Muscheln, Gastropoden, Brachiopoden, Crinoiden, Ostrakoden, Trilobiten, Cefalopoden, Calcisphären und Foraminiferen. Einige sind im Ganzen überliefert, die meisten jedoch bruchstückhaft oder sogar zermahlen (durch Stürme, Meeresbewegungen oder den Einfluss anderer räuberischer oder grabender Riffbewohner). Aus geologischer Sicht werden die in diesem Milieu abgelagerten Gesteinstypen aufgrund verschiedener Merkmale unterschieden: hierzu zählt beispielsweise das Vorhandensein von mehr oder weniger deutlichen Schichten sowie deren Mächtigkeit, die Farbe, das Vorkommen erkennbarer Fossilien, usw.. So konnten fünf zeitlich aufeinanderfolgende Formationen definiert werden, deren Namen auf Orte und Gipfel im Massiv der Hohen Warte zurückgehen: Hohe Warte, Seewarte, Lambertenghi, Spinotti und Kellergrat (Abb. **29**). In den internen Zonen befand sich eine ruhige Lagune im geschützten inneren Riffbereich, die nur vom Wellengang besonders heftiger Stürme gestört wurde. Hier finden sich mehrere hundert Meter mächtige Ablagerungsgesteine, die als „Amphiporenkalk“ bezeichnet werden (Spinotti-Formation). Dabei handelt es sich um biogene Kalkfelsen, bestehend aus „Rasenflächen“ des ästigen Stromatoporen *Amphipora ramosa*, die Karbonatschlamm einschließen. Amphiporen sind keine, zylindrische oder ästige Kalkschwämme, meist einige Millimeter breit und bis zu 5 cm lang, die im ruhigen Flachwasser lebten. Bisweilen sind zwischen den Amphiporen dunklere Karbonatschichten mit großen Brachiopoden der Art *Stringocephalus burtinii* vorhanden. Amphiporenkalke sind besonders häufig entlang des Spinotti-Wanderwegs und am Monte Zermula; leicht zu beobachten sind sie am Lanzenpass in der Gegend um die ehemalige Kaserne der italienischen Zollpolizei. Aus einem ähnlichen Gestein (Polinik-Formation) bestehen auch der Mooskofel, Gamskofel und Polinik auf österreichischer Seite.

Die Zwischengebiete

In den dazwischen liegenden Zonen lagerten sich große Abbruchmassen der äußeren Randbereiche der Karbonatplattformen und dazwischen

29 > La Cima Lastrons del Lago/Seewarte è formata da rocce depositatesi in ambienti poco profondi durante il Devoniano Inferiore.

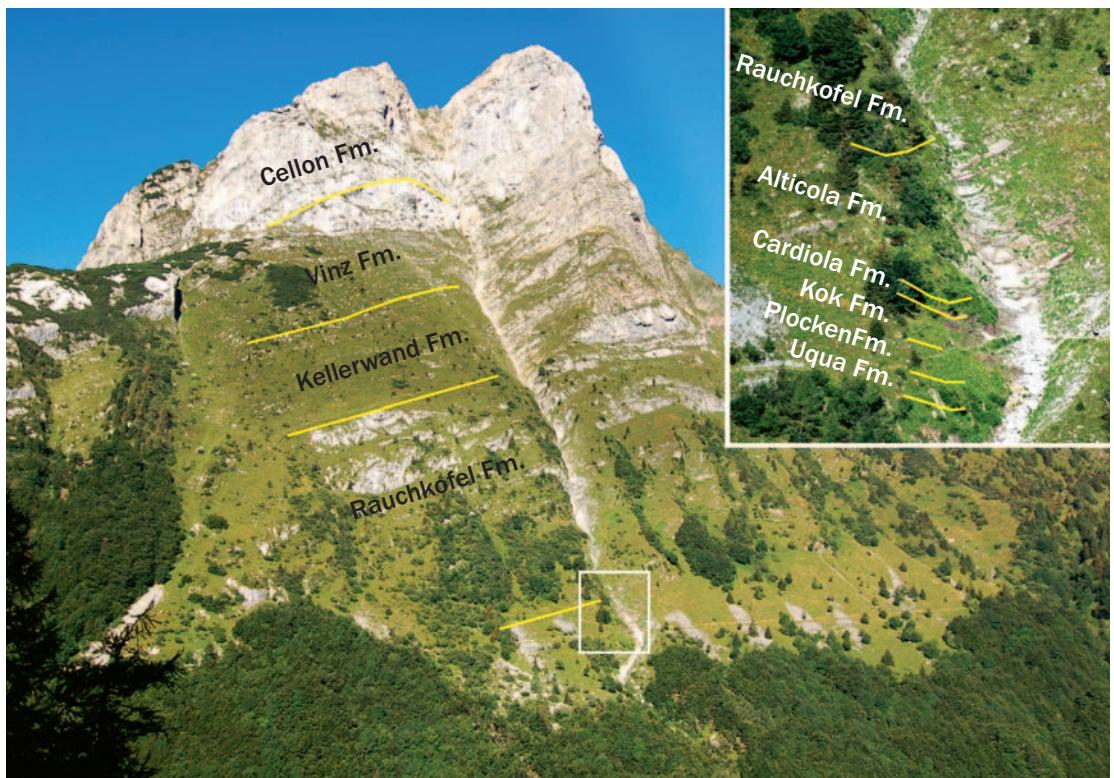
servati interi, mentre molti altri sono stati rotti, o addirittura triturati, dalle tempeste e dalle mareggiate, o dall'azione di altri abitanti della scogliera (predatori e scavatori).
I geologi distinguono i vari tipi di roccia depositatesi in questo ambiente poco profondo in base a varie caratteristiche, quali per esempio la presenza di strati più o meno evidenti e il loro spessore, il colore, la presenza di fossili riconoscibili, ecc. Sono state quindi definite cinque formazioni, che si susseguono nel tempo, e derivano i loro nomi da località e cime del massiccio del Monte Coglians: Hohe Warte, Seewarte, Lambertenghi, Spinotti e Kellergrat (Fig. **29**).
Nelle zone interne si trovava un tranquillo ambiente lagunare di retroscogliera, che veniva disturbato solo dalle onde delle tempeste più violente. Qui si sono depositati alcuni centinaia di metri di rocce note come "calcari ad Amphipore" (Formazione dello Spinotti). Si possono considerare rocce calcaree biocostruite, costituite da "praterie" di *Amphipora ramosa* intrappolanti fango carbonatico. Le Amphipore erano piccole spugne calcaree di forma cilindrica o ramificata, di norma larghe qualche millimetro e lunghe fino a 5 cm, che vivevano in acque calme e poco profonde. Di tanto in tanto intercalati alle Amphipore, si osservano livelli carbonatici più scuri, caratterizzati dalla presenza di grossi brachiopodi della specie *Stringocephalus burtinii*. I calcari ad Amphipore sono molto abbondanti lungo il sentiero Spinotti e al Monte Zermula, e sono facilmente osservabili al Passo del Cason di Lanza, attorno alla vecchia caserma della Guardia di Finanza. Rocce simili (Formazione del Polinik) costituiscono i rilievi dei monti Mooskofel, Gamskofel e Polinik in Austria.

pelagische Sedimente ab. Die Merkmale dieser Gesteinskörper ändern sich mit der Zeit und spiegeln die Zusammensetzung des zeitgleichen Flachwassergestein sowie die Morphologie des Ablagerungsmilieus wieder. In dem Maß, wie die Korallenriffe langsam wuchsen und größer wurden, so wurde auch der Neigungswinkel des sie mit den wenig tieferen Bereichen verbindenden Abhangs stetig größer. Anfangs wurde bei den Abrutschungen ständig feines, wenige Zentimeter dickes Material abgelagert; mit größer werdender potentieller Abrutschmasse bildeten sich so mächtige Brekzienbänke. In der Zeit zwischen den einzelnen Abbrüchen kam es in den Verbindungszonen zwischen den Riffen und dem Beckenbereich wieder zu einer ruhigen pelagischen Sedimentation. Auf der Basis dieser Eigenschaften werden vier zeitlich aufeinanderfolgende Formationen unterschieden: Kellerwand, Vinz, Cellon und Freikofel. Sie alle sind gut erkennbar am Osthang des Cellon und am Freikofel (Abb. **30**).

Offshore-Fazies

Während sich in flachen Meeresbereichen über ein Kilometer mächtige Sedimentschichten ansammelten, lagerte sich in den tieferen Zonen des Karnischen Beckens nur einige Dutzend Meter pelagisches Sediment ab; dabei handelt es sich überwiegend um Kalke, deren Eigenschaften sich im Laufe der Zeit verändert haben.
Die Offshore-Gesteine aus dem Unterdevon sind rötliche und rosafarbene Kalke in nicht sehr mächtigen Schichten mit typischer knotenförmiger Struktur. Im unteren Formationsbereich finden sich auch Einlagerungen von hellgrauen, mergeligen Kalken. Die generell nicht sehr häufig vorkommenden Fossilien bestehen zum Großteil aus Tentakuliten und Fragmenten von Cefalopoden, Trilobiten und Crinoiden. Dieses Gestein ist im gesamten Karnischen Alpenraum verbreitet; besonders häufig kommt es in der Gegend um den Hoher Trieb und Findenigkofel vor.
Im Mitteldevon kam es zur zeitgleichen Ablagerung zweier Gesteinstypen in unterschiedlichen Beckenbereichen: die Valentin-Formation und die Hoher Trieb-Formation. Die Valentin-Formation besteht aus hellen, deutlich geschichteten Kalken aus Ablagerungen in organismenreichen Zonen am Meeresboden: hier finden sich zahlreiche Fossilien von meeresbodenbewohnenden Tieren (Muscheln, Brachiopoden, Crinoiden, Korallen), aber auch Überreste von Organismen aus den darüber befindlichen Meeresbereichen (Cefalopoden, Fische). Diese Gesteinsart kommt um den Wolayersee vor (ein ausgezeichneter Aufschluss befindet sich am Nordhang des Wolayertals auf halbem Weg zwischen dem See und dem Valentintörl-Pass) und weiter östlich in der Nähe des Monte Cocco und dem Oisternig. Die Hoher Trieb-Formation besteht aus Wechselschichten unterschiedlicher Gesteine: helle, deutlich geschichtete Kalke, schwarzer Pelit, Radiolarite und dicke Brekzienbänke. Sehr häufig sind Fossilien von Korallen, die durch einen besonderen Fossilisationsprozess (Verkieselung) erhalten blieben. Dieses verbreitet zwischen Hoher Trieb und Monte Pizzul vorkommende Gestein ist leicht zu beobachten in der Gegend von Oberbuchach, Cadin bei Lanzen und östlich des Zuc di Malaseit.

Oberdevon

Kurz nach Beginn des Frasniums (vor ca. 380 Millionen Jahren) führte eine Reihe globaler Veränderungen des Meeresspiegels gepaart mit den Auswirkungen einer lokalen Tektonikphase zum Aussterben der Riffe. Interessanterweise verschwanden die weltweit verbreiteten, großen Korallenriffe aus dem Devon überall fast zeitgleich. In den Karnischen Alpen besteht die Gesteinsfazies aus dem Oberdevon fast ausschließlich aus pelagischen Kalken der Großer Pal-Formation, auch bekannt unter dem Namen „Clymenienkalk“ (benannt nach einer für diese Periode typischen Gruppe von Ammoniten). Dieses graue, rosa oder auch rötliche Gestein kann deutlich geschichtet, massiv oder knotig vorliegen. Die Fossilien (hauptsächlich Ammoniten) sind allgemein recht selten und liegen meist in gut definierten Lagen konzentriert vor; auch Trilobiten kommen vor. Mikrofossilien wie Conodonten sind hingegen sehr häufig und ermöglichen eine genaue Datierung dieses Gesteins, das in den Karnischen Alpen überall verbreitet ist - insbesondere über Offshore- und den dazwischenliegenden Ablagerungen - während es über Riffen seltener vorkommen. Die klassischen Untersuchungsorte hierfür sind die Gebiete Großer Pal und Pramosio. Neben der Großer Pal-Formation sind die einzigen anderen Gesteinsaufschlüsse aus dem Oberdevon in Karnien die brachiopodenreichen Muschellagen (Kollinkofel-Formation) aus Flachwassersedimenten oberhalb der Riffe. Sie sind in einem kleinen Gebiet zwischen dem Kollinkofel und dem Plöckenpass dokumentiert.

30 > Nella Creta di Collinetta/Cellon affiora una successione pressoché continua dall'Ordoviciano Superiore al Devoniano Superiore.

Le aree intermedie

Nelle parti intermedie si depositavano grandi frane di crollo delle parti più esterne degli edifici carbonatici, intercalate da depositi pelagici. Le caratteristiche di questi corpi rocciosi cambiano nel tempo e riflettono la composizione delle rocce di mare basso coeve, nonché la morfologia dell'area di deposizione. Infatti, man mano che si ingrandivano e crescevano le scogliere, il pendio che le raccordava con le parti anche poco più profonde assumeva un angolo via via maggiore. Se all'inizio le frane depositavano ripetutamente materiale fino dello spessore di pochi centimetri, la quantità di materiale che poteva franare aumentò, andando a formare spessi banchi di brecce. Nel tempo che trascorreva tra una frana e l'altra nelle aree di raccordo fra le scogliere e il bacino riprendeva una tranquilla sedimentazione pelagica.
In base a queste caratteristiche vengono distinte quattro formazioni, che si susseguono nel tempo: Kellerwand, Vinz, Cellon e Freikofel. Tutte queste unità sono ben esposte nel versante est della Creta di Collinetta e al Freikofel (Fig. **30**).

Gli ambienti di mare aperto

Mentre nelle aree poco profonde si accumulava oltre un chilometro di sedimenti, nelle aree più profonde del bacino carnico si depositavano alcune decine di metri di sedimenti

31 > Parete nord della Creta delle Chianevate vista da ovest (Val Valentina).

pelagici. Si tratta per lo più di calcari, le cui caratteristiche sono cambiate nel tempo.
Le rocce di mare aperto del Devoniano Inferiore sono calcari rossastri e rosati in strati poco spessi e con una caratteristica struttura nodulare (Formazione del Findenig). Nella parte bassa della formazione sono presenti intercalazioni di calcari marnosi di colore grigio chiaro. I fossili sono in generale poco frequenti e rappresentati soprattutto da tentaculiti e frammenti di cefalopodi, trilobiti e crinoidi. Queste rocce sono diffuse in tutte le Alpi Carniche, ma sono particolarmente abbondanti nelle aree della Cuestalta e del Monte Lodin.
Nel Devoniano Medio si sono depositati contemporaneamente due tipi di rocce in diverse parti del bacino: la Formazione del Valentin e la Formazione del Hoher Trieb. La Formazione del Valentin è costituita da calcari chiari ben stratificati depositatisi in un fondale ricco di vita: vi si trovano infatti molti fossili di animali che vivevano sul fondale (bivalvi, brachiopodi, crinoidi, coralli) insieme a resti di organismi che vivevano nel mare sovrastante (cefalopodi, pesci). Queste rocce sono presenti nell'area del Lago di Volaia (un ottimo affioramento si trova nel versante nord della Val Volaia, circa a metà strada tra il lago e il Passo della Valentina) e più a est nei pressi di Monte Cocco e di Monte Osternig.
La Formazione del Hoher Trieb è costituita da alternanze di calcari chiari ben stratificati, peliti nere, radiolariti e spessi banchi di breccia. Tra i fossili sono abbondanti i coralli, conservati tramite un particolare processo di fossilizzazione chiamato silicizzazione. Queste rocce, relativamente abbondanti tra la Cuestalta e Monte Pizzul, sono facilmente osservabili nell'area di Oberbuchach, nel Cadin di Lanza e a est dello Zuc di Malaseit.

Devoniano Superiore

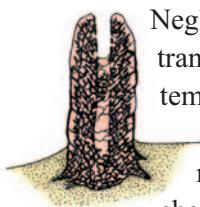
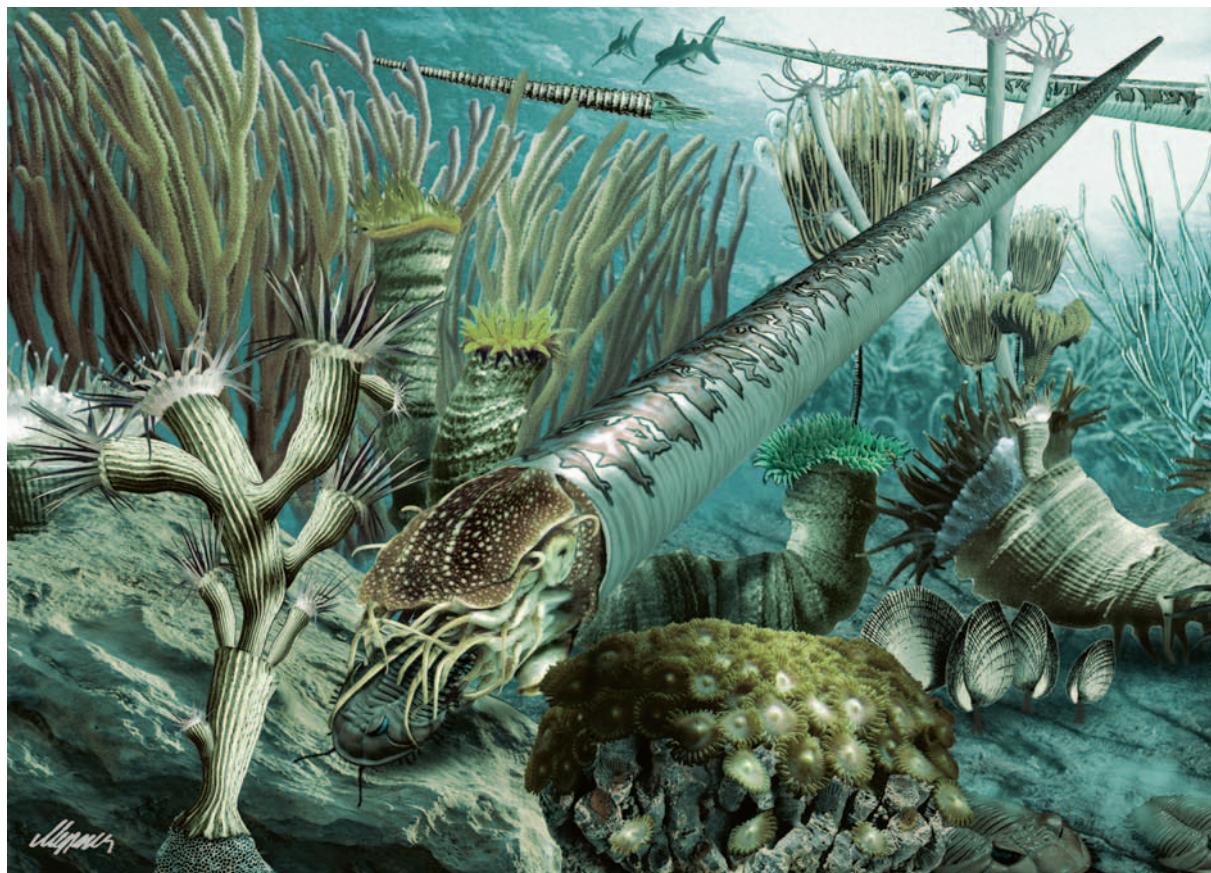
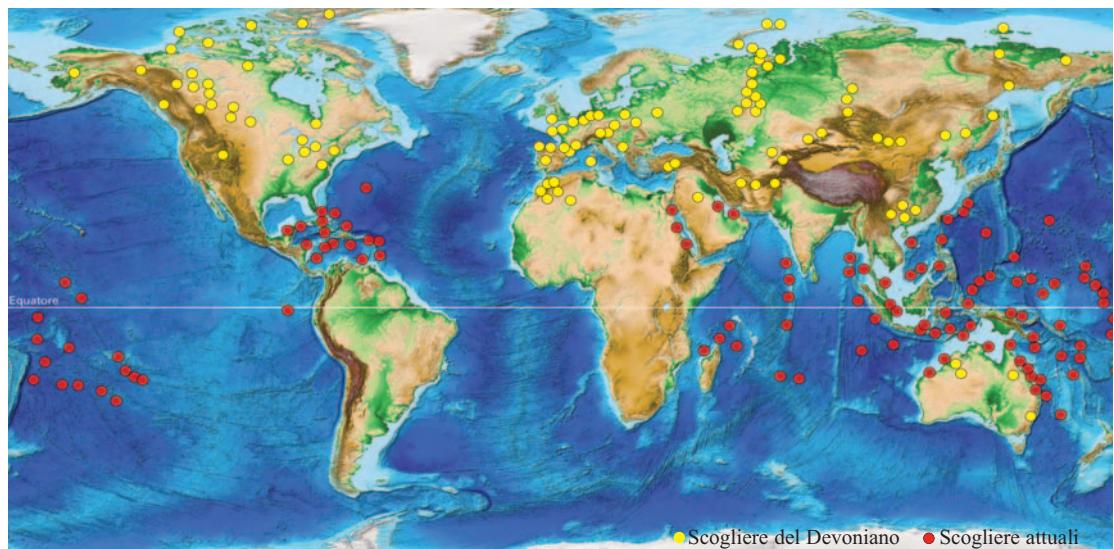
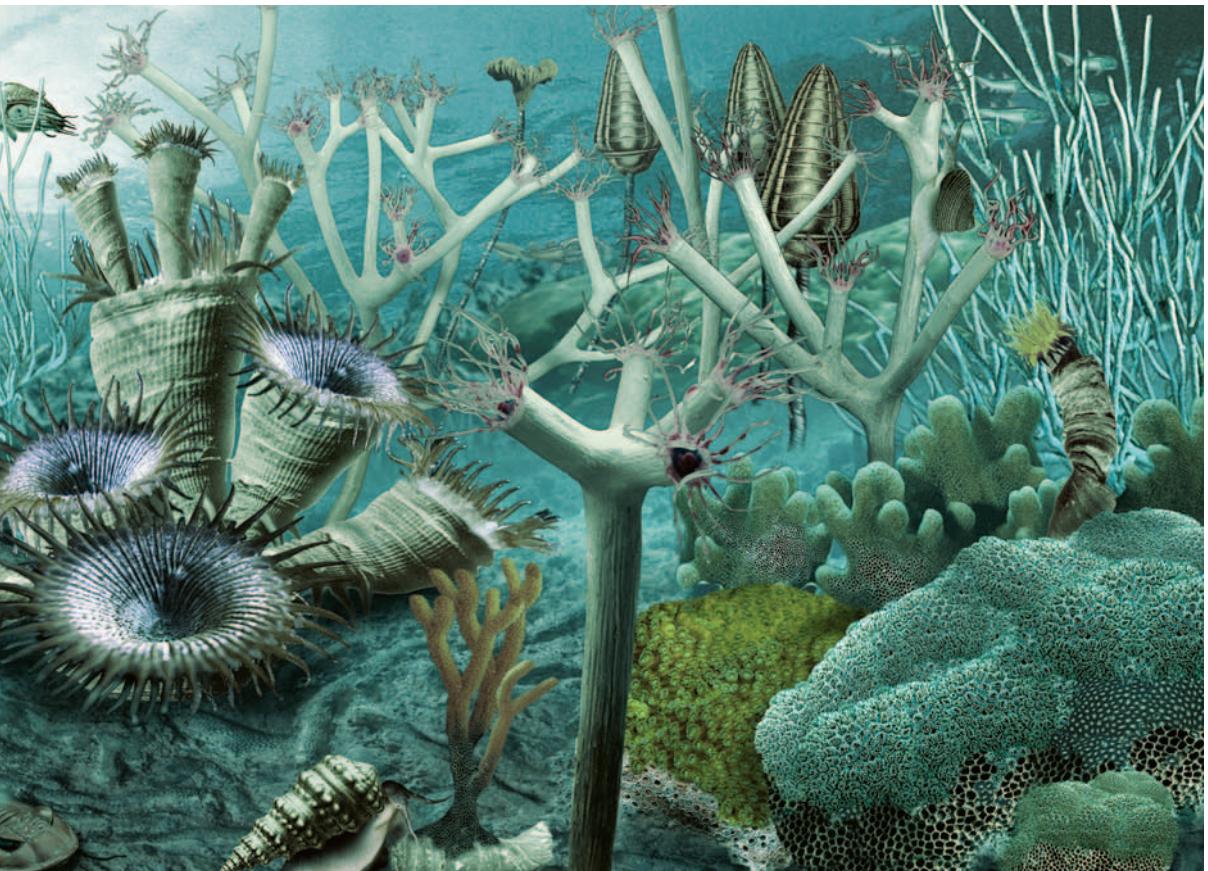
Poco dopo l'inizio del Frasniano, circa 380 milioni di anni fa, una serie di variazioni del livello del mare a scala globale, unitamente agli effetti di una fase tettonica locale, provocarono la scomparsa delle scogliere. È interessante notare come le grandi scogliere devoniane, che erano diffuse in tutta la Terra, siano scomparse ovunque quasi contemporaneamente.
Nelle Alpi Carniche le rocce del Devoniano Superiore sono rappresentate, quasi esclusivamente, dai calcari pelagici della Formazione di Pal Grande, noti anche con il nome di "Calcari a Clymenie", dal nome di un gruppo di ammonoidi caratteristico del periodo. Queste rocce, di colore grigio o rosato, fino a rossastro, possono essere ben stratificate, massive o nodulari.
I fossili, principalmente ammonoidi, sono in generale relativamente scarsi e tendono a concentrarsi in livelli ben definiti; sono presenti anche trilobiti. Sono invece abbondanti i microfossili, come i conodonti, che consentono una precisa datazione di queste rocce che, nelle Alpi Carniche sono diffuse ovunque, soprattutto al di sopra dei depositi di mare aperto e di quelli intermedi, mentre sono più rare al sopra delle scogliere. Le aree più classiche per il loro studio sono le zone di Pal Grande e Pramosio.
Oltre alla Formazione di Pal Grande, le uniche altre rocce del Devoniano Superiore affioranti in Carnia sono alcuni livelli conchigliari ricchi di brachiopodi (Formazione della Creta di Collina), depositatisi in ambienti di acqua bassa, al di sopra delle scogliere. Sono documentati in una ristretta area tra la Creta di Collina e Passo di Monte Croce Carnico.

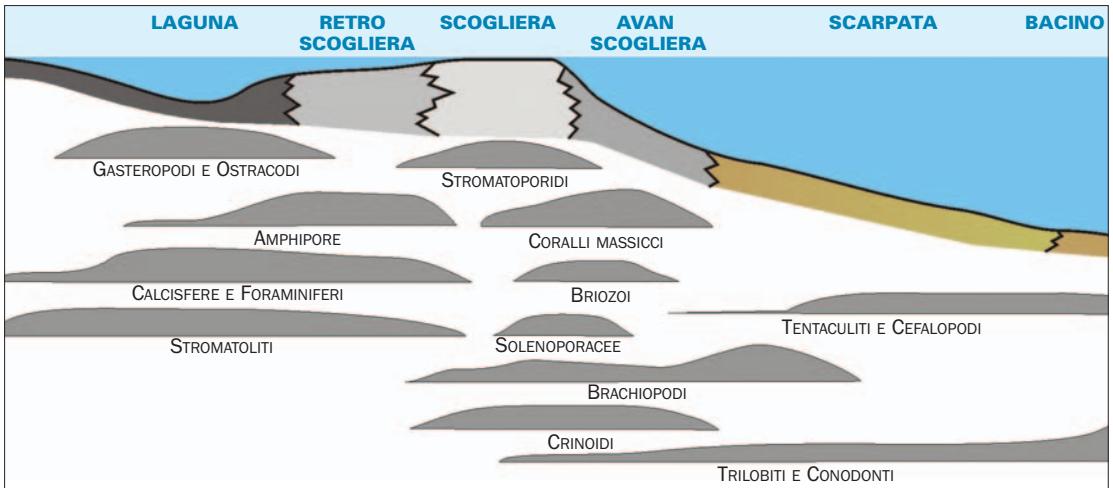
32 > Ricostruzione dell'ambiente di scogliera del Devoniano Inferiore (Pragiano-Emsiano) delle Alpi Carniche.

GLI ORGANISMI DEL DEVONIANO

Vengono di seguito descritti i principali gruppi di organismi che abitavano i mari devoniani delle Alpi Carniche, sia quelli che hanno costruito la scogliera, sia quelli che vivevano nei particolari e variegati ambienti ad essa connessi sia quelli più tipici delle aree di mare più aperto.

Spugne e stromatoporidi

Le spugne e gli altri rappresentanti del Phylum Porifera sono gli animali pluricellulari più primitivi esistenti. Infatti, possiedono solo pochi tipi di cellule che non sono organizzate in veri tessuti.
Sono organismi bentonici sessili, filtratori, che utilizzano delle cellule flagellate per pompare acqua nei loro sistemi di canali; possono essere incrostanti o eretti, assumendo morfologie diverse a seconda delle caratteristiche ambientali (substrato, correnti, moto ondoso). Lo scheletro delle spugne è interno e può essere organico o costituito da calcare o da silice. Negli ambienti collegati alle scogliere del Devoniano delle Alpi Carniche sono abbondanti due gruppi di poriferi: gli stromatoporidi (Fig. **37**) e le Amphipore (Fig. **36**).
Gli stromatoporidi hanno contribuito attivamente alla formazione delle scogliere. Si tratta di organismi massicci con morfologia planare allungata o a cupola, più raramente ramificati, che potevano raggiungere dimensioni metriche. Sono abbondanti soprattutto nell'area di Monte Coglians. Tipici del Siluriano e Devoniano, si sono estinti a fine Mesozoico.
Negli ambienti protetti di retroscogliera, caratterizzati da lagune tranquille, che venivano raggiunte solo di tanto in tanto dalle tempeste più forti, vivevano grandi quantità di Amphipore, piccole spugne calcaree di forma cilindrica o ramificata, di norma larghe qualche millimetro e lunghe fino a 5 cm, tipiche del Devoniano.
I "Calcari ad Amphipora" sono molto diffusi nelle aree di Monte Zermula e del sentiero Spinotti e sono facilmente osservabili al Passo del Cason di Lanza, nei pressi della ex caserma della Guardia di Finanza.

33 > Colonia di tabulati (*Favosites*), alcuni fra i più tipici costruttori di scogliere devoniane (Passo Volaia).

34 > Ricostruzione dell'ambiente di scogliera del Devoniano Medio. Sotto la distribuzione delle scogliere devoniane e attuali.

La **scogliera organogena** è un corpo carbonatico marino che si sopraeleva dal fondale grazie all'attività di organismi costruttori: attualmente soprattutto coralli, con associati idrozoi, briozoi, madreporari, spugne, alghe calcaree. Questi organismi "raccolgono" il carbonato di calcio presente nell'acqua e lo utilizzano per costruire il loro "scheletro". Questa attività si sviluppa con particolari condizioni di luminosità, livello marino, moto dell'acqua, salinità, ossigeno e temperatura. Quando queste condizioni mancano la scogliera, o parte di essa, "muore": l'equilibrio fra crescita, livello dell'acqua ed altre condizioni porta allo sviluppo verticale (ma anche laterale) della biocostruzione.
Le scogliere si sviluppano direttamente connesse alla costa (frangia), separate da una laguna (barriera), in singole strutture isolate (patch reef) o come atolli. L'attuale barriera corallina australiana si sviluppa per oltre 2000 km.

Ein **biogenes Riff** ist ein mariner Karbonatkörper, der sich dank der Tätigkeit der riffbildenden Organismen über den Meeresboden erhebt. Derzeit gehören hauptsächlich Korallen im Verbund mit Hydrozoen, Bryozoen, Steinkorallen, Schwämmen und Kalkalgen zu diesen Organismen. Sie filtern das Kalziumkarbonat aus dem Wasser heraus und verwenden es zum Bau ihrer „Skelette". Diese Tätigkeit erfolgt unter ganz bestimmten Bedingungen was Licht, Meeresspiegel, Wasserbewegung, Sauerstoff- und Salzgehalt sowie Temperatur des Wassers anbelangt. Fehlen diese besonderen Voraussetzungen, so „stirbt" das Riff bzw. ein Teil von ihm. Nur das ausgewogene Verhältnis zwischen Wachstum, Meeresspiegel und anderen Bedingungen ermöglicht die vertikale (aber auch laterale) Ausdehnung der Biokonstruktion. Riffe entstehen im direkten Anschluss an die Küste (Saumriffe), abgetrennt von einer Lagune (Barriere-Riffe), in einzelnen Strukturen (Bioherme oder Patch Reefs) oder als Atolle. Das heutige australische Barriereriff erstreckt sich auf über 2000 km.

35 > Schema semplificato degli ambienti di una scogliera corallina devoniana con i relativi gruppi di organismi che li caratterizzavano.

Le scogliere del Devoniano

Le barriere coralline sono rare negli oceani moderni, dove occupano circa lo 0,2% dei fondali. Invece, sono state molto più comuni in alcuni periodi nel passato geologico, quando il clima era più caldo, il livelli del mare più alto ed esistevano vaste aree di acqua bassa alle latitudini tropicali e temperate. Nella storia del nostro pianeta la massima espansione delle scogliere si è verificata nel Devoniano Medio e Superiore, ma le scogliere devoniane (Figg. **34** e **35**) erano diverse da quelle attuali, perché costruite ed abitate da organismi differenti da quelli attuali. Le scogliere devoniane erano dominate da stromatoporidi, un gruppo particolare di spugne. Coralli, sia Tabulata (Fig. **33**) sia Rugosa, e batteri calcificati aiutarono a stabilizzare l'impalcatura delle scogliere. Oltre a questi organismi, le scogliere devoniane furono colonizzate da un'ampia varietà di brachiopodi, trilobiti, briozoi e altri. La maggior parte degli animali che vivevano in queste scogliere erano filtratori, mentre gli organismi che vivevano all'interno del sedimento e i predatori erano relativamente scarsi rispetto alle barriere coralline moderne. Le più grandi scogliere Devoniane sono documentate in Australia dove hanno raggiunto una lunghezza di oltre 350 km senza interruzioni. Altri grandi scogliere devoniane sono documentate in Canada, negli Urali e in Europa (le più estese nelle Alpi Carniche), mentre scogliere di dimensioni più piccole sono diffuse quasi ovunque

Die Korallenriffe im Devon

In den modernen Ozeanen sind Korallenriffe selten und bedecken nur etwa 0,2 % der Meeresböden. Dennoch waren sie in anderen Zeitaltern der Erdgeschichte - als das Klima wärmer und die Meeresspiegel höher waren, und weitläufige, von flachen Gewässern bedeckte Gebiete in tropischen und gemäßigten Breiten existierten - viel verbreiteter. Im Laufe der Erdgeschichte kam es mehrmals zur Bildung solcher Riffe. Die maximale Verbreitung der Riffe fällt ins Mittlere und Obere Devon, doch die Riffkörper aus dem Devon (Abb. **34-35**) unterscheiden sich von den heutigen Korallenriffen, da sie von jeweils anderen riffbildenden Organismen gebaut und bewohnt waren. Im Devon waren die Riffe von Stromatoporen beherrscht, einer Gruppe, die heute meist den Schwämmen zugeordnet wird. Korallen (sowohl Tabulata (Abb. **33**) als auch Rugosa) und verkalkte Bakterien trugen zur Stabilisierung des Riffgerüstes bei. Neben diesen Organismen lebten in den devonischen Riffen viele Arten von Brachiopoden, Trilobiten, Bryozoen und andere Lebewesen. Die meisten Riffbewohner waren Filtrierer; im Gegensatz zu modernen Korallenriffen gab es nur relativ wenig sedimentbewohnende Organismen und Räuber. Die größten bekannten Korallenriffe aus dem Devon befinden sich in Australien, wo sie sich auf einer Länge von über 350 km erstrecken. Weitere große Devon-Riffkalke sind aus den kanadischen Rocky Mountains und in Europa (die weitläufigsten davon sind die Karnischen Alpen) bekannt, während kleinere Riffformationen fast überall verbreitet sind.

36 > Le amphipore sono poriferi tipici dell'ambiente di retroscogliera devoniana (Cason di Lanza).

37 > Calcare "di scogliera": si notano alcuni coralli in sezione e un grande frammento allungato di stromatoporide (Monte Coglians).

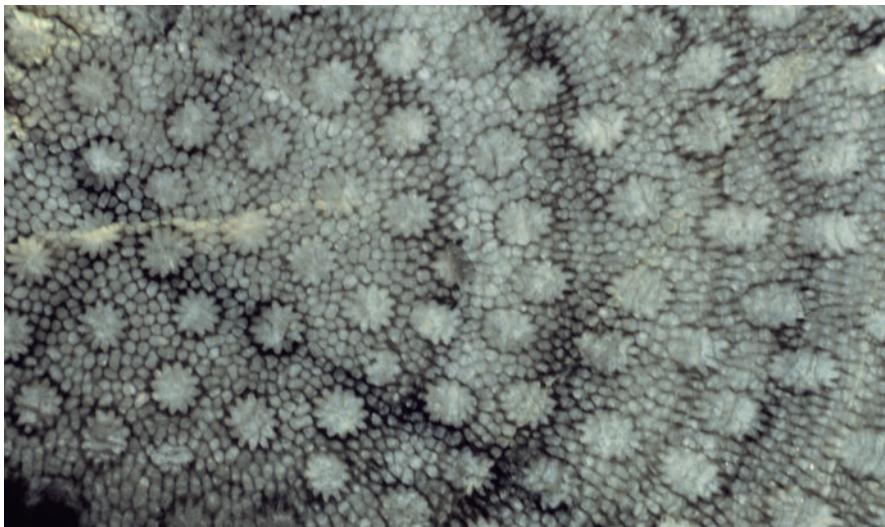
Tentaculiti

I tentaculiti (Fig. **38**) sono un gruppo enigmatico di animali estinti vissuti tra l'Ordoviciano Inferiore e il Devoniano Superiore. Si tratta di piccole conchiglie, di norma lunghe pochi millimetri, di forma conica molto allungata, spesso con ornamentazioni a coste nella parte esterna.
Probabilmente erano organismi sospensivori, che si cibavano cioè di particelle organiche presenti nell'acqua marina. Nel Devoniano delle Alpi Carniche sono relativamente comuni nelle rocce di mare aperto del Devoniano Medio, ma sono difficilmente osservabili a causa delle loro piccole dimensioni.

38 > Sezione sottile di calcare a tentaculiti. Fra i diversi tentaculitidi, un esemplare (in basso) mostra, in sezione, la tipica forma a cono allungato (Cadin di Lanza).

Coralli

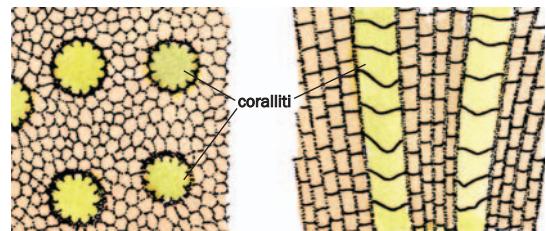
I coralli appartengono al phylum Cnidaria, insieme alle meduse e agli anemoni di mare. Sono metazoi molto semplici, con una organizzazione corporea primitiva, in cui mancano degli organi differenziati. Si sono originati nel Precambriano e sono tuttora presenti ed abbondanti.

I coralli possono vivere isolati, oppure in colonie, anche di grandi dimensioni. Ogni individuo (corallite) secerne il suo scheletro, nella maggior parte dei casi costituito da carbonato di calcio. Durante la crescita si sviluppano una serie di strutture verticali (setti) e

39 > Particolare di una colonia di *Heliolites*, tabulato del Devoniano: si osserva la tipica forma stellata dei singoli coralliti (vedi disegno sotto in sezione longitudinale e trasversale).
È uno dei tipici organismi costruttori della scogliera devoniana delle Alpi Carniche (Passo Volaia).

DIE LEBEWESEN IM DEVON

Im Folgenden werden die wichtigsten Gruppen von Organismen beschrieben, die in den devonischen Meeren Karniens lebten; dabei handelt es sich sowohl um riffbildende Organismen, als auch um solche, die in den verschiedensten besonderen Nischen um Lebensraum Riff lebten und um typische Lebewesen aus dem offenen Meer.

Schwämme und Stromatoporen

Die Schwämme und anderen Vertreter des Phylums (Stamm) Porifera sind die primitivsten der heute lebenden Vielzeller. Sie besitzen nur wenige Zellarten, die nicht in richtiges Gewebe eingebunden sind.
Schwämme sind sesshafte, benthische Organismen; sie sind Filtrierer und pumpen das Wasser mithilfe von gegeißelten Zellen in ihre Kanalsysteme. Je nach Eigenschaften des Milieus (Substrat, Strömungen, Wellengang) nehmen sie unterschiedliche Formen an und können im verkrusteten Habitus oder auch aufrecht wachsend vorkommen. Schwämme besitzen ein Innenskelett, das entweder organisch ist oder aus Kalk bzw. Kieselsäure besteht. In den Faziesbereichen der devonischen Korallenriffe der Karnischen Alpen sind zwei Schwämme-Gruppen besonders zahlreich: die Stromatoporen (Abb. **37**) und die Amphiporen (Abb. **36**).
Stromatoporen waren aktive Riffbildner. Diese massigen Organismen mit länglich plattem oder kuppelförmigem (selten ästigem) Körperbau konnten über einen Meter lang werden. Sie

kommen hauptsächlich in der Gegend der Hohen Warte vor. Nach ihrer größten Verbreitung im Silur und im Devon starben sie Ende des Mesozoikums aus.
Im geschützten Milieu des hinteren Riffbereichs, wo die ruhigen Lagunen nur ab und an von den stärksten Winden erreicht wurden, lebten große Mengen von Amphiporen; diese zylinderförmigen oder ästig wachsenden Kalkschwämme sind typisch für das Devon und wurden normalerweise nur wenige Millimeter breit und bis zu 5 cm lang. Die sogenannten „Amphiporenkalke“ sind besonders häufig am Monte Zermula und entlang des Spinotti-Wanderwegs; leicht zu beobachten sind sie am Lanzenpass, in der Nähe der ehemaligen Kaserne der italienischen Zollpolizei.

Tentakuliten

Tentakuliten (Abb. **38**) sind eine rätselhafte, ausgestorbene Gruppe von meeresbewohnenden Tieren, die zwischen dem unteren Ordovizium und dem Oberdevon lebten. Die wenige Millimeter großen Tieren besaßen ein kalkschaliges, spitzkonisches Gehäuse, dessen Außenseite häufig gerippt skulpturiert ist. Möglicherweise

40 > Particolare del tetracorallo *Hexagonaria* (Passo Volaia).

orizzontali (tabule), insieme ad altre meno comuni. In base alla presenza e alla disposizione dei setti e delle tabule vengono distinti tre grandi gruppi di coralli: Rugosa (detti anche tetracoralli, Fig. **40**), Tabulata (Figg. **39, 41**) e Scleractinia (detti anche esacoralli). I Rugosa e i Tabulata sono esclusivamente paleozoici, mentre gli Scleractinia sono comparsi all'inizio del Mesozoico e racchiudono tutti i coralli attuali con scheletro carbonatico. Nei mari attuali vive un ulteriore gruppo, quello degli Ottocoralli, che non ha però una significativa documentazione fossile.

Nel Devoniano esistevano quindi Rugosa e Tabulata: entrambi i gruppi sono stati tra i principali costruttori delle scogliere di quel periodo. I Tabulata erano esclusivamente coloniali e sviluppavano colonie anche di grandi dimensioni, prevalentemente massicce, senza ramificazioni, i singoli coralliti erano disposti in prima approssimazione gli uni accanto agli altri. Nei Tabulata i setti sono molto rari, mentre le tabule sono le strutture dominanti.

I Rugosa potevano svilupparsi sia coloniali, sia solitari. Sono caratterizzati dalla presenza di setti ben evidenti, che si sviluppavano quattro alla volta durante la crescita; sono presenti anche tabule e altre strutture scheletriche (dissepimenti). Le forme isolate avevano, di norma, una morfologia che ricorda un corno e vivevano appoggiate al fondale; le colonie potevano assumere varie morfologie, ma le più comuni avevano una forma per lo più arrotondata con i coralliti disposti gli uni vicino agli altri.

Nelle Alpi Carniche entrambi i gruppi di coralli sono abbondanti nei depositi di scogliera, soprattutto nell'area del Lago di Volaia e del Monte Coglians. Un altro ottimo punto di osservazione è la cava abbandonata presso Casera Val di Collina. Inoltre, coralli isolati, sia rugosa che tabulata, sono conservati non in posizione di vita nelle rocce della Formazione del Hoher Trieb, dove sono evidenziati dalla fossilizzazione per silicizzazione; sono facilmente osservabili nella zone di Monte Lodin e nell'area a sud del Passo del Cason di Lanza.

ernährten sie sich von schwebenden organischen Teilchen, die sie aus dem Meerwasser filterten. Im Devon der Karnischen Alpen kommen sie relativ häufig in Offshore-Gesteinsformationen des mittleren Devons vor, sind jedoch aufgrund ihrer geringen Größe nur schwer zu erkennen.

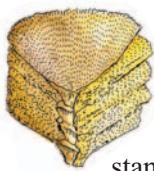
Korallen
Korallen gehören wie die Quallen und Seeanemonen zum Stamm der Nesseltiere (Cnidaria). Es handelt sich um sehr einfache, vielzellige Tiere mit einer sehr einfachen Strukturierung des Körpers, in dem differenzierte Organe fehlen. Sie sind seit dem Präkambrium bekannt und bis heute sehr zahlreich verbreitet. Korallen leben einzeln oder in zum Teil sehr großen Kolonien aus vielen Einzelpolypen. Jeder Polyp sitzt in einem Kelch (Korallit) und bildet durch Ausscheidungen sein meist aus Calciumkarbonat bestehendes Skelett. Während des Wachstums bilden sich eine Reihe von vertikalen Septen und waagrechten Zwischenplatten (Tabulae) sowie andere, weniger gängige Strukturen. Je nach Art und Anordnung der Septen und Tabulae werden die Korallen in drei große Gruppen unterteilt: Rugosa (Tetrakorallia, Abb. **40**), Tabulata (Abb. **39** u. **41**) und Steinkorallen (Hexacorallia). Rugosa und Tabulata kamen ausschließlich im Paläozoikum vor, während zu den erstmals am Beginn des Mesozoikums aufgetauchten Steinkorallen ebenfalls alle heutigen Korallen mit Kalkskelett gehören. In den heutigen Meeren lebt eine weitere Gruppe namens Octocorallia, die jedoch keine nennenswerte fossile Überlieferung besitzt. Im Devon existierten nur die zwei Gruppen Rugosa und Tabulata und sie gehören zu den wichtigsten riffbildenden Organismen dieser Periode.
Tabulata („Bödenkorallen") waren eine ausschließlich kolonial lebende Ordnung und bildeten bisweilen sehr große, meist massig erscheinende Kolonien ohne Verästelungen. Die einzelnen Koralliten waren direkt und sehr nah nebeneinander angeordnet. Bödenkorallen besitzen nur selten Septen; die vorherrschende Struktur sind Tabulae.
Rugosa („Runzelkorallen") konnten sich sowohl solitär, als auch in Kolonien entwickeln. Sie haben sehr ausgeprägte Septen, die sich während des Wachstums jeweils in 4er-Gruppen ausbildeten. Auch Tabulae und andere Skelettstrukturen (Dissepimente) sind vorhanden. Solitäre Rugosa-Arten besaßen meist ein hornförmiges Skelett und lebten auf dem Meeresboden; die Kolonien

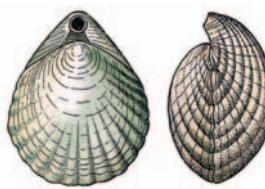
41 > Colonia di tabulati silicizzati (Monte Rauchkofel).

konnten unterschiedlich geformt sein, meist jedoch handelte es sich um runde Gebilde, bei denen die Koralliten dicht aneinander saßen.
In den Karnischen Alpen kommen beide Korallenarten häufig in Riffsedimenten vor, insbesondere in der Gegend des Wolayersees und der Hohen Warte; eine weitere ausgezeichnete Betrachtungsstelle ist der aufgelassene Steinbruch bei der Hütte Val di Collina. Einzelne Korallen - sowohl Rugosa als auch Tabulata - sind nicht in Lebensposition im Gestein der Hoher Trieb-Formation überliefert, wo sie durch Verkieselung fossil erhalten blieben; sie sind in der Gegend um den Findenigkofel und im Gebiet südlich des Lanzenpasses leicht erkennbar.

Bryozoen
Moostierchen (Bryozoen) sind kolonial lebende, benthische Organismen, die ab dem Ordovizium bis heute in allen Meeren weit verbreitet sind; es sind jedoch auch Süßwasserarten bekannt. Die Kolonien können aus mehreren hundert Einzeltieren bestehen und besitzen ein Stützgerüst (Skelett) aus faserigen oder gelatineartigen Proteinen und/oder Calciumkarbonat. Sie haben sehr unterschiedliche Formen, die den jeweiligen Lebensraum wiederspiegeln: die Kolonien in ruhigen und tiefen Gewässern beispielsweise bilden aufrechte, fächerförmige oder ästige Formen, sodass sie wie Büsche aussehen; in sehr energiereichen Milieus sind die Kolonien kräftiger, scheibenförmig und bisweilen verkrustend ausgebildet (d.h. sie wachsen über anderen Organismen oder auf den Felsen am Meeresboden). In den Karnischen Alpen kommen Moostierchen häufig im Oberordovizium und im Oberkarbon vor, während sie im Devon zu den seltensten Bewohnern der Riffe zählen.

Briozoi

I briozoi sono organismi coloniali bentonici, ampiamente diffusi in tutti i mari a partire dall'Ordoviciano all'attuale, ma sono note anche specie di acqua dolce. Una colonia può essere formata da svariate centinaia di individui e avere una intelaiatura (scheletro) costituita da proteine fibrose o gelatinose e/o da carbonato di calcio. La morfologia delle colonie è molto varia e riflette l'ambiente di vita: per esempio in acque tranquille e profonde le colonie assumono una forma eretta, a ventaglio o ramificata, tanto da assomigliare a dei cespugli, mentre in ambienti ad alta energia le colonie sono più robuste, discoidali e talora incrostanti (cioè sviluppate sopra altri organismi o sulle rocce del fondale).
Nelle Alpi Carniche sono abbondanti nell'Ordoviciano Superiore e nel Carbonifero superiore, mentre nel Devoniano sono tra i componenti meno abbondanti delle scogliere.

Brachiopodi

I brachiopodi erano gli invertebrati più abbondanti e diversificati del Paleozoico. Si sono originati nel Cambriano inferiore e hanno dominato gli ambienti di mare poco profondo fino al Permiano. Sono sopravvissuti alla grande estinzione avvenuta alla fine del Permiano, ma la loro abbondanza e varietà è fortemente diminuita in tutto il Mesozoico e il Cenozoico: oggi ne esistono circa 120 generi, un numero molto basso rispetto agli oltre 4500 generi fossili.
Sono organismi esclusivamente marini caratterizzati da una conchiglia formata da due valve diverse tra loro. Una viene detta brachiale (o dorsale), l'altra peduncolare (o ventrale) e di norma è la più grande. In generale

ogni valva può essere divisa in due parti simmetriche rispetto a un piano che le attraversa perpendicolarmente.
Vengono distinte tre classi di brachiopodi, in base alla composizione e alle modalità di collegamento delle valve: i Lingulata hanno le valve chitino-fosfatiche, gli Articulata hanno le valve calcaree connesse da una cerniera, gli Inarticulata hanno le valve carbonatiche ma non è presente la cerniera. Attualmente i brachiopodi sono tutti molto simili tra loro e vivono attaccati al substrato in ambienti marini marginali, mentre nel Paleozoico vivevano in tutti gli ambienti e presentavano una grande varietà di morfologie.
Nel Devoniano delle Alpi Carniche i brachiopodi sono presenti quasi ovunque (Figg. **42-45**), ma sono abbondanti negli ambienti di scogliera e di avanscogliera. Inoltre, veri e propri accumuli di brachiopodi sono presenti nelle rocce della Formazione della Creta di Collina, affiorante sull'omonima montagna e nelle aree immediatamente a sud-est.

Molluschi Bivalvi

I bivalvi sono molluschi filtratori caratterizzati da un corpo schiacciato, racchiuso in una

42 > Delthyrididae, brachiopode spiriferide (Passo Volaia).

43 > *Retzia haidingeri dichotoma*, brachiopode, (Casera Monumenz).

44 > Brachiopode Rhynchonellida (Passo Volaia).

45 > Il gasteropode *Loxonema* (Passo Volaia).

Brachiopoden

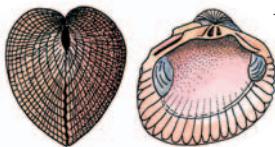
Die Armfüßer (Brachiopoden) waren die am häufigsten und mit der größten Artenvielfalt vorkommenden Wirbellosen im Paläozoikum. Sie entwickelten sich im Unterkambrium und waren die unbestrittenen Herrscher der Lebensräume in den flachen Meeren bis ins Perm. Sie überlebten das große Massenaussterben am Ende des Perms, doch ihre Zahl und Artenvielfalt nahm im gesamten Mesozoikum und Känozoikum stark ab: heute existieren noch rund 120 Gattungen (eine sehr kleine Zahl im Gegensatz zu den über 4500 fossilen Vertretern). Brachiopoden waren ausschließlich im Meer lebende Organismen mit einer zweiklappigen Schale, die in eine Dorsal- und eine unterschiedlich geformte und meist etwas größere Ventralklappe unterteilt wird. Die Symmetrieebene geht bei diesen Tieren senkrecht durch die Einzelklappe und teilt sie in jeweils zwei symmetrische Hälften.
Brachiopoden werden je nach Zusammensetzung und Verschluss der Schalen in drei Klassen eingeteilt: die Lingulata besitzen Chitin-Phosphat-Schalen, die Articulata haben ein Schalenschloss und Kalkschalen, während die Inarticulata zwar Kalkschalen, jedoch kein Schalenschloss aufweisen. Die heutigen Brachiopoden ähneln sich alle sehr und leben anhängend am Substrat in marinen Randgebieten, während ihre paläozoischen Verwandten alle Lebensräume besiedelten und eine sehr vielfältige Morphologie besaßen. Im Devon der Karnischen Alpen sind die Brachiopoden fast überall zu finden (Abb. **42-45**), besonders häufig kommen sie jedoch in den Fazies der Riffe und Vorderriffe vor. Ferner finden sich wahre Ansammlungen von Brachiopoden im Gestein der Kellerspitzen-Formation, wo es Aufschlüsse am gleichnamigen Berg und den unmittelbar südöstlich gelegenen Zonen gibt.

Weichtiere - Bivalven

Muscheln (Bivalven) sind filtrierende Weichtiere mit einem flach gedrückten Körper, der von zwei kalkigen Schalenklappen umschlossen ist. Meistens sind die Klappen spiegelverkehrt zueinander. Die Klappen werden von einem Schloss zusammengehalten, das verschiedenartig aufgebaut sein kann und zwischen den einzelnen

conchiglia costituita da due valve di carbonato di calcio. Nella maggior parte dei casi le valve sono speculari tra loro. Le valve sono connesse da una cerniera, che può avere strutture molto diverse tra loro e che variano significativamente tra le diverse specie.
Comparsi nel Cambriano, si diversificarono all'inizio del Mesozoico e sono abbondanti anche oggi. La grande maggioranza dei bivalvi vive in mare, mentre relativamente poche specie vivono in acqua dolce. I bivalvi sono bentonici: alcuni vivono al di sopra del fondale, mentre altri all'interno dei sedimenti.
Nel Devoniano delle Alpi Carniche i bivalvi non sono molto abbondanti, ma alcune esemplari sono osservabili soprattutto negli ambienti di scogliera.

Molluschi Gasteropodi

I gasteropodi sono la classe di molluschi più abbondante e diffusa. Vivono nei mari, in acqua dolce e anche in ambiente terrestre, si sono diffusi negli habitat più vari e hanno sviluppato strategie nutrizionali molto differenziate. Sono comparsi nel Cambriano e hanno raggiunto la massima diversità nel Cenozoico.
Sono caratterizzati da una conchiglia carbonatica, in genere formata da aragonite, di forma spirale allungata lungo un asse. Alcune forme non hanno conchiglia. Quasi tutti i gasteropodi acquatici sono bentonici, con la sola eccezione del gruppo degli pteropodi che hanno un modo di vita planctonico.
Nel Devoniano delle Alpi Carniche si trovano soprattutto in ambiente di retroscogliera e laguna, ma sono presenti, non abbondanti, quasi ovunque (Figg. **46-48**).

46 > Gasteropode del genere *Pleurotomaria* (Passo Volaia).

47 > Il particolare gasteropode *Goniotremus insectus* (Passo Volaia).

Molluschi Cefalopodi

I cefalopodi sono la classe di molluschi più complessi ed evoluti. Hanno la testa distinta dal resto del corpo, organi di senso ben sviluppati e sono caratterizzati da una corona di tentacoli disposti attorno alla bocca. I polpi, le seppie e i calamari sono tra i cefalopodi attuali più noti e diffusi. Sono tutti organismi marini, che possono spostarsi a piacere nuo-

48 > Gasteropode Euomphalidae (Passo Volaia).

Arten enorme Unterschiede aufweist. Muscheln tauchten erstmals im Kambrium auf, fächerten sich zu Beginn des Mesozoikums in viele Arten auf und sind bis heute sehr weit verbreitet. Der Großteil der Muscheln lebt im Meer, nur wenige Arten benötigen Süßwasser. Muscheln sind benthische Lebewesen, leben im Meeresgrund, sind an ihm festgewachsen oder liegen frei auf ihm. Im Devon der Karnischen Alpen kommen Muscheln nicht sehr häufig vor; vor allem in der Rifffazies kann man jedoch auch einige Exemplare finden.

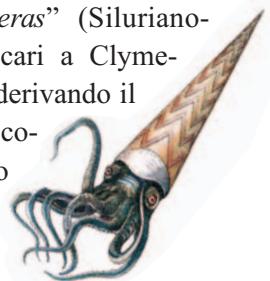
Weichtiere - Gastropoden

Schnecken (Gastropoden) sind die am weitesten verbreitete und zahlenmäßig größte Klasse der Weichtiere. Sie leben im Meer- oder Süßwasser, aber auch an Land, haben sich in den unterschiedlichsten Habitaten verbreitet und sehr unterschiedliche Ernährungsstrategien entwickelt. Die Tiere tauchten erstmals im Kambrium auf und hatten ihre größte Artenvielfalt im Känozoikum. Schnecken besitzen eine meist aus Aragonit bestehende Kalkschale mit asymmetrisch spiraliger Windung entlang einer Achse; nur einige Formen sind gehäuselos. Fast alle im Wasser lebenden Schnecken sind benthisch; die einzige Ausnahme sind die sog. „Flügelschnecken" (Thecosomata, früher Pteropoda) die zu den planktischen Meeresschnecken zählt. Im Devonkalk der Karnischen Alpen sind sie vor allem in der Fazies des inneren Riffs und der Lagune zu finden; aber auch sonst kommen sie fast überall vor, wenngleich auch nicht mit derselben Häufigkeit (Abb. **46-48**).

Weichtiere - Kopffüßer

Kopffüßer (Cefalopoden) sind die komplexeste und am höchsten entwickelte Klasse der Weichtiere. Sie besitzen einen vom übrigen Körper abgesetzten Kopf und gut entwickelte Sinnesorgane; ihr Mund ist von streckbaren Fangarmen (Tentakeln) umgeben. Die bekanntesten und am weitesten verbreiteten Kopffüßer der heutigen Zeit sind Tintenfische wie Sepien, Kalmare und Kraken. Die meereslebenden Tiere können sich nach Belieben durch Schwimmen oder Bewegungen auf dem Boden fortbewegen. Von den heute noch lebenden Arten besitzen nur die Perlboote (*Nautilus*) eine Außenschale, während dies in der Vergangenheit - insbesondere im Paläozoikum und im Mesozoikum - ein sehr gängiges Merkmal war.
Das Gehäuse von Kopffüßern ist in mehrere Kammern unterteilt, die durch einen Siphon miteinander verbunden sind. Das Tier benutzt nur die äußerste Kammer (Wohnkammer), kann jedoch über den Siphon den Druck innerhalb der anderen verändern, um so seine Tiefe im Meer zu regulieren, ähnlich wie es bei modernen Unterseebooten geschieht. Das Gehäuse besteht aus Kalk und kann unterschiedliche Formen

49 > Ammonoide *Kosmoclymenia* cfr. *undata* (Malga Pramosio).

tando o muovendosi sul fondale. Tra i cefalopodi attuali solo il *Nautilus* possiede una conchiglia esterna, mentre questa era una caratteristica molto comune nel passato, soprattutto nel Paleozoico e nel Mesozoico.
La conchiglia dei cefalopodi è divisa in camere collegate tra loro tramite un sifuncolo. L'animale occupa solo la camera più esterna, detta camera di abitazione, ma tramite il sifuncolo può variare la pressione all'interno delle altre camere, regolando così la sua profondità nel mare, analogamente a come fa un moderno sottomarino. La conchiglia è formata da carbonato di calcio e può avere forme diverse: diritta e conica (ortoconica), oppure leggermente ricurva (cirtoconica), oppure avvolta su in piano (planispirale).
I cefalopodi con conchiglia esterna vengono divisi in nautiloidi ed ammonoidi, secondo la morfologia e la struttura delle camere e la posizione del sifuncolo. In prima approssimazione, ma esistono eccezioni, la grande maggioranza dei nautiloidi ha la conchiglia ortoconica, mentre nella grande maggioranza degli ammonoidi la conchiglia è planispirale. I nautiloidi sono comparsi nel Cambriano e sono presenti anche oggi; gli ammonoidi si sono evoluti durante il Devoniano e hanno dominato i mari fino alla fine del Mesozoico, quando si sono estinti.
Nel Devoniano delle Alpi Carniche sono presenti sia nautiloidi che ammonoidi (Figg. **49-50**) nelle rocce depositatesi in mare aperto, mentre sono rari in ambiente di scogliera. I nautiloidi sono più abbondanti nel Devoniano Inferiore, mentre gli ammonoidi sono più diffusi nel Devoniano Superiore.
A testimoniare l'abbondanza di questi fossili è il fatto che alcune rocce venivano chiamate "Calcari ad *Orthoceras*" (Siluriano-Devoniano Inf.) e "Calcari a Clymeniae" (Devoniano Sup.) derivando il nome da due generi particolarmente diffusi, il primo è un nautiloide, il secondo un ammonoide.

50 > Ammonoide ?*Agoniatites* (Malga Pramosio).

51 > Calici e frammenti di steli di cistoidi (Passo Volaia).

besitzen: gerade (orthokonisch), leicht gekrümmt oder in einer Ebene gewickelt (planspiralig). Außenschalige Kopffüßer werden je nach Morphologie und Struktur der Kammern und Position des Siphons in Nautiliden und Ammoniten eingeteilt. Die große Mehrheit - es gibt aber auch Ausnahmen - der Nautiliden besitzt ein orthokonisches Gehäuse, während es bei den meisten Ammoniten planspiralig ist. Nautiliden tauchten erstmals im Kambrium auf und noch heute durch eine Art vertreten; Ammoniten entwickelten sich während des Devons und beherrschten die Weltmeere bis zu ihrem Aussterben am Ende des Mesozoikums.
Im Devon der Karnischen Alpen sind sowohl Nautiliden als auch Ammoniten (Abb. **49-50**) in den Sedimentgesteinen aus dem Offshore-Bereich zu finden; in der Rifffazies hingegen sind sie selten. Nautiliden sind häufiger im Unterdevon anzutreffen, während Ammoniten im Oberdevon weit verbreitet sind. Manche Gesteinsarten wurden nach den in Massen in ihnen enthaltenen Fossilien benannt; die „Orthoceras-Kalke" (Silur-Unterdevon) und die „Clymenien-Kalke" (Oberdevon) sind typische Beispiele hierfür und verdanken ihren Namen zwei besonders verbreiteten Nautiliden- (im ersten Fall) bzw. Ammoniten-Gattungen (im zweiten Fall).

Crinoiden

Die Seelilien und Haarsterne (Crinoiden) gehören zum Stamm der Stachelhäuter und sind damit Verwandte der Seeigel und Seesterne. Wie ihr deutscher Name besagt, erinnert der Körperbau an eine Blume (Lilie) und in der Tat unterteilt sich auch ihr Körper in drei typische Bereiche: Wurzelapparat, Stiel und Kelch (Krone). Mithilfe des Wurzelapparats machen sich die Crinoiden am Untergrund fest; je nach Lebensraum und Beschaffung des Bodens kann er unterschiedliche Formen besitzen. Der bei jeder Art verschieden lange Stiel besteht aus einer Reihe übereinanderliegender Plättchenglieder. Am oberen Ende des Körpers tragen Crinoiden einen Kelch, der alle lebenswichtigen Organe schützt; vom Kelchrand aus verzweigt sich eine Krone aus Armen, welche die Nahrung zum Mund führt, der sich im oberen Bereich des Kelchs befindet. Die

Crinoidi

I crinoidi sono un gruppo di echinodermi, quindi sono imparentati con i ricci di mare e le stelle marine. Per la loro morfologia sono chiamati anche "gigli di mare", dato che un osservatore superficiale potrebbe scambiarli per un fiore. Il corpo infatti è costituito da tre parti: un apparato radicale, lo stelo (peduncolo) e il calice (corona). L'apparato radicale è utilizzato dai crinoidi per fissarsi e può avere varie morfologie secondo l'ambiente di vita e le caratteristiche del fondale. Lo stelo, di lunghezza variabile secondo le specie, è formato da una serie di placchette sovrapposte tra loro. Il calice costituisce la parte terminale del corpo, ma è quella in cui si trovano tutti gli organi vitali; una corona di braccia convoglia, con il movimento, il cibo verso la bocca, che si trova nella parte superiore del calice. Le varie placchette che formano lo stelo e le braccia sono tenute insieme da tessuti organici, per cui alla morte del crinoide si disperdono sul fondo: è quindi molto comune trovare placchette, a volte in grande abbondanza, mentre è molto raro trovare un crinoide fossile intero.

I crinoidi sono documentati dall'Ordoviciano Inferiore ed esistono anche oggi in tutti mari. Un gruppo particolare di crinoidi, gli Scyphocrinitidi, ha modificato l'apparato radicale, trasformandolo in una boa, che permetteva loro di flottare liberamente nei mari. Questa modificazione non ha però avuto un grande successo evolutivo, come testimonia il fatto che gli Scyphocrinitidi siano esistiti solo in un breve intervallo alla fine del Siluriano e all'inizio del Devoniano, e successivamente nessun altro gruppo di crinoidi abbia sviluppato qualcosa di analogo. I resti delle "boe" degli Scyphocrinitidi, dette loboliti, formano livelli ben evidenti in molte parti della Terra, Alpi Carniche comprese.

Nelle Alpi Carniche resti di crinoidi sono comuni nelle rocce depositatesi in mare basso, dove a volte formano intere lenti e livelli. I loboliti sono presenti in rocce depositatesi in ambiente di mare aperto all'inizio del Devoniano. In particolare, livelli ricchi di loboliti sono osservabili nell'area del Monte Rauchkofel e nei pressi di Rio Malinfier (Fig. **52**).

Oltre ai crinoidi nelle rocce delle scogliere carniche sono presenti rari resti di altri echinodermi, appartenenti al gruppo informale dei cistiodi (Fig. **51**).

Trilobiti

I trilobiti sono un gruppo di organismi estinti, appartenenti al phylum Artropoda, di gran lunga il phylum più abbondante e diversificato nel mondo attuale, comprendente tutti gli invertebrati con uno scheletro esterno, il corpo segmentato e un numero variabile di coppie di zampe e appendici. I trilobiti sono quindi

52 > Loboliti in affioramento nella sezione Rio Malinfier Ovest (Cason di Lanza).

53 > Cephalon di trilobite *Harpes* (Passo Volaia).

54 > Il Trilobite *Gerastos* (Casera Val di Collina).

einzelnen Stielglieder und die Arme werden durch organisches Gewebe zusammengehalten, das nach dem Absterben des Crinoiden verstreut auf den Meeresboden sinkt; daher kann man sehr häufig Stielglieder (bisweilen in großen Mengen) finden, während der Fund eines ganzen Crinoidenfossils eine große Seltenheit ist.
Crinoiden sind ab den Unteren Ordovizium belegt und existieren noch heute in allen Meeren. Eine besondere Gruppe, die Bojen-Seelilien (Scyphocriniten), hat den Wurzelapparat in ein kugelartiges Gebilde verändert, das es ihr ermöglichte, frei in den Meeren umher zu schweben. Diese Veränderung hatte jedoch aus evolutiver Sicht keinen großen Erfolg; das zeigt schon allein die Tatsache, dass die Scyphocriniten nur für eine kurze Zeitspanne vom Ende des Silurs bis zum Beginn des Devons gelebt haben und dass keine der später lebenden Crinoiden-gruppen einen analogen Apparat entwickelt hat. Die Überreste dieser Bojen werden Lobolithen genannt und bilden in vielen Teilen der Erde, einschließlich der Karnischen Alpen, gut erkennbare Lagen. In den Karnischen Alpen kommen Überreste von Crinoiden häufig in Sedimentgesteinen aus Flachmeerbereichen vor, wo sie Linsen und Schichten bilden. Lobolithen kommen in Ablagerungen aus Offshore-Bereichen am Beginn des Devons vor. Aufschlüsse lobolithenreicher Schichten liegen im Gebiet des Rauchkofels und in der Nähe von Rio Malinfier (Abb. **52**).
Neben den Crinoiden sind in den karnischen Korallenriffen auch seltene Überreste anderer Stachelhäuter zu finden, die zur informellen Gruppe der Knospenstrahler (Cystoidea) gehören (Abb. **51**).

Trilobiten

Trilobiten („Dreilapper“) sind eine ausgestorbene Klasse meeresbewohnender Gliederfüßer (Arthropoda). Die Gliederfüßer sind das bei weitem größte und vielfältigste Phylum der heutigen Welt; es umfasst alle Wirbellosen mit einem Exoskelett, einem in Segmente unterteilten Körper und einer unterschiedlichen Anzahl an Beinpaaren und Fortsätzen. Dazu zählen neben Trilobiten auch die Gruppen der Krustentiere, Insekten, Spinnen, Skorpione und Tausendfüßler. Namensgebend für die Trilobiten ist der typische Körperbau aus drei sagittal verlaufenden Loben („Lappen“): dem mittleren Spindel- oder Axislobus und den beiden pleuralen Loben auf der rechten und linken Seite. Die Trilobiten werden auch transversal in drei Glieder geteilt: Kopfschild (Cephalon), Thorax und Schwanzschild (Pygidium). Der Thorax besteht aus unterschiedlich vielen Segmenten und entspricht dem Rumpf. Bei den meisten Trilobiten war der Kopfschild größer als der Schwanzschild, nur bei sehr wenigen Arten war der Schwanzschild ähnlich groß oder sogar größer. Einige Trilobitenarten besaßen mehr oder weniger große Stachelfortsätze, während andere fast glatt waren. Trilobiten waren überwiegend benthische Tiere, wenngleich sich einige Arten an pelagische Milieus angepasst haben. Trilobiten existierten ausschließlich im Paläozoikum. Sie hatten ihre Blütezeit mit maximaler Verbreitung und größter Artenvielfalt in der Spanne zwischen Kambrium und Unterem Ordovizium. Anschließend nahm ihre Zahle langsam aber stetig ab, bis sie am Ende des Perms endgültig ausstarben. Im Devon der Karnischen Alpen sind sie fast überall vertreten (Abb. **53-54**), wenngleich auch niemals besonders zahlreich.

Graptolithen

Graptolithen (Schriftsteine) sind eine ausgestorbene Klasse koloniebildender mariner

vagamente imparentati con crostacei, insetti, ragni, scorpioni, millepiedi, ecc.

Il nome deriva dalla morfologia del corpo, in cui si distinguono tre lobi longitudinali, uno centrale (detto assiale) e due laterali. I trilobiti sono divisi in tre parti anche in senso trasversale: cephalon, torax e pygidium. Il cephalon era la testa del trilobite. Il torax, costituito da un numero variabile di segmenti (pleure) corrisponde al tronco. Il pygidium era la parte caudale. Nella maggior parte dei trilobiti il cephalon era più grande del pigidio, mentre più raramente aveva dimensioni simili o era più grande il pigidio. Alcune specie di trilobiti erano ornate da spine più o meno grandi, mentre altre erano quasi lisce.

I trilobiti erano principalmente animali bentonici, anche se alcune specie si sono adattate a un modo di vita pelagico.

I trilobiti sono vissuti esclusivamente nel Paleozoico, avendo la massima abbondanza e diversità nel Cambriano e nell'Ordoviciano Inferiore. Successivamente sono andati in lento, continuo declino, fino a estinguersi alla fine del Permiano.

Nel Devoniano delle Alpi Carniche sono presenti quasi ovunque (Figg. **53-54**), anche se non sono mai particolarmente abbondanti.

Graptoliti

I graptoliti sono un gruppo estinto di animali marini coloniali, vissuto solo durante il Paleozoico. Lo scheletro delle colonie era costituito da collagene e varie proteine. Appartengono a un phylum poco diffuso, il phylum Hemicordata, i cui rappresentanti attuali più noti sono i quasi sconosciuti pterobranchi.

Esistono due tipi di graptoliti, con strutture della colonia e modi di vita diversi. I graptoloidi avevano una colonia piccola, di dimensioni centimetriche, formata da pochi rami e vivevano flottando liberamente nei mari. La loro distribuzione stratigrafica va dall'Ordoviciano al Devoniano Inferiore. I dendroidi avevano colonie molto più grandi, costituite anche da molte decine di rami, quasi a formare dei piccoli cespugli che potevano superare il metro di altezza e diametro. Vivevano quasi tutti ancorati al fondale, con la sola eccezione di alcune specie pelagiche nell'Ordoviciano Inferiore. Sono noti dal Cambriano al Carbonifero.

Nel Devoniano delle Alpi Carniche si trovano entrambi i tipi di graptoliti. I Graptoloidi sono relativamente abbondanti nelle peliti del Devoniano Inferiore, soprattutto nell'area a Nord della Cuestalta, mentre i dendroidi sono invece estremamente rari.

Conodonti

I conodonti sono tra i più antichi cordati noti. Erano piccoli animali con un corpo anguilliforme, lungo qualche centimetro e largo pochi millimetri. Avevano una testa con due grandi occhi, una pinna caudale e potevano muoversi attivamente nei mari. Nella bocca avevano un apparato dentale complesso, della stessa composizione (apatite) dei denti dei vertebrati. Proprio i denti costituiscono la quasi totale documentazione fossile dei conodonti, essendo le sole parti mineralizzate di questi organismi.

I conodonti sono comparsi nel Cambriano e sono vissu-

Tiere, die nur während des Paläozoikums lebten. Das Kolonieskelett bestand aus Kollagen und verschiedenen Proteinen. Graptolithen werden gemeinhin bei den nicht sehr verbreiteten Kiemenlochtieren (Hemichordata) eingeordnet, deren heutige Vertreter die fast unbekannten Flügelkiemer (Pterobranchia) sind.
Aufgrund der unterschiedlichen Koloniebildung und Lebensweise werden zwei Arten von Graptolithen unterschieden: Graptoloidea bildete wenige Zentimeter große, kaum verästelte Kolonien, die frei im Meer schwebten. Ihr stratigrafisches Vorkommen reicht vom Ordovizium bis ins Unterdevon. Dendroidea hingegen bildete sehr große Kolonien mit unzähligen Verästelungen, die sie fast wie Büsche erscheinen lassen und über einen Meter breit und hoch werden konnten. Fast alle Vertreter dieser Ordnung lebten sessil am Meeresboden verankert; die einzige Ausnahme bilden einige pelagische Arten im unteren Ordovizium. Dendroidea sind vom Kambrium bis ins Karbon verbreitet. Im Devon der Karnischen Alpen kommen beide Ordnungen der Graptolithen vor. Vertreter von Graptoloidea sind relativ häufig in den Tonschiefergesteinen des Unteren Devons, vor allem im Gebiet Hoher Trieb, während Dendroidea extrem selten zu finden sind.

Conodonten

Die Conodonten (griech. für „Kegelzahn“) gehören zu den kleinsten bekannten Chordatieren (Chordata). Die kleinen Tiere weisen einen wenige Zentimeter langen, lanzettförmigen Habitus mit seitlich abgeflachtem Körper (< mm) auf. Sie besaßen einen Kopf mit zwei großen Augen sowie

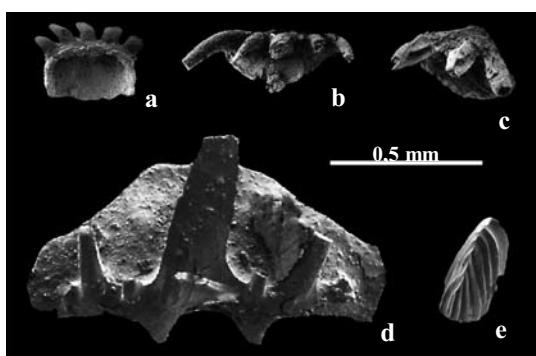
55 > Micro-denti di pesci del Famenniano delle Alpi Carniche. a: *Siamodus janvieri*; b: *Phoebodus limpidus*; c: *Jalodus australiensis*; d: “*Symmorium*” *glabrum* ; e: *Clairina marocensis*.

eine Schwanzflosse und konnten sich selbstständig im Meer bewegen. Im Maul saß ein komplexer Apparat mit zahnähnlichen Strukturen mit der gleichen Zusammensetzung (Apatit) wie die Zähne von Wirbeltieren. Dieser so genannte Conodonten-Apparat ist aufgrund seiner mineralischen Beschaffenheit in der Regel auch das einzige fossil überlieferte Element dieser Lebewesen.
Conodonten erschienen im Kambrium und lebten bis in die Trias. Während dieser Zeitspanne entwickelten sie sich sehr schnell, d.h. die einzelnen Arten lebten nur für eine relativ kurze Zeit. Daher sind sie sehr nützlich bei der zeitlichen Einordnung des sie umschließenden Gesteins. Auch in den Karnischen Alpen konnte das Alter zahlreicher Gesteine dank der darin enthaltenen Conodonten bestimmt werden. Dort kommen Conodonten häufig in den Ablagerungsgesteinen aus dem Offshore-Milieu (Abb. **56**) und den Übergangsbereichen zwischen den Korallenriffen und dem offenen Meer vor, während sie in Riffformationen selten sind.

Fische

Die Fische entwickelten sich im Unteren Paläozoikum und erfuhren zwischen dem Silur und dem Devon eine enorme Zunahme ihrer Artenvielfalt. Die Kieferlosen (Agnatha) waren die ersten Fische und wie ihr Name besagt, besaßen sie weder Unter- noch Oberkiefer; vermutlich lebten sie am Boden. Die Körper einiger Arten waren teilweise bzw. vollständig von dicken Knochenplatten bedeckt. Fische mit einem Zahnbogen tauchten erstmals im Silur auf. Knorpelfische wie die Haie sind seit dem Devon bekannt. In den Karnischen Alpen sind fossile Überreste makroskopischer Fische sehr selten. Ganz anders verhält es sich mit den mikroskopisch kleinen Zähnchen (Abb. **55**) in der Offshore-Fazies aus dem Oberen Devon.

Andere Organismen

Im Devon der Karnischen Alpen sind neben den bis hierher beschriebenen auch fossile Überlieferungen anderer Organismengruppen vorhanden. Es handelt sich vor allem um winzig kleine Lebewesen, die nicht mit dem bloßen Auge erkennbar sind, sondern nur unter dem Mikroskop betrachtet werden können, nachdem das Gestein im Labor behandelt wurde. Zu diesen so genannten „Mikroorganismen“ gehören Foraminiferen, Muschelkrebse (Ostrakoden), Chitinozoen und kalkige Mikroalgen.

ti fino al Triassico. Per tutto questo intervallo di tempo hanno avuto una evoluzione rapida, cioè le varie specie hanno vissuto in un intervallo di tempo relativamente breve. Sono quindi molto utili per definire l'età della rocce in cui vengono trovati. L'età di molte rocce paleozoiche delle Alpi Carniche è stata determinata grazie alla presenza di conodonti.
Nelle Alpi Carniche i conodonti sono abbondanti (ne sono documentate alcune centinaia di specie) in tutte le rocce depositatesi in mare aperto (Fig. **56**) e negli ambienti di transizione tra le scogliere e il mare aperto, mentre sono rari nelle scogliere.

56 > Conodonti del Devoniano delle Alpi Carniche. a: *Wurmiella wurmi*, Lochkoviano; b: *Zieglerodina remscheidensis*, Lochkoviano; c: *Icriodus hesperius*, Lochkoviano; d: *Belodella resima*, Lochkoviano; e: *Ancyrodella pramosica*, Frasniano; f: *Tortodus kockelianus australis*, Eifeliano; g: *Ancyrodelloides trigonicus*, Lochkoviano; h: *Polygnathus eiflius*, Lochkoviano; i: *Panderodus unicostatus*, Lochkoviano; j: *Klapperina ovalis*, Frasniano.

Pesci

I pesci si sono originati nel Paleozoico inferiore, e hanno avuto una grande differenziazione tra il Siluriano e il Devoniano. I primi pesci non avevano mandibole e mascelle (agnati) e probabilmente vivevano sul fondo. Alcuni avevano il corpo ricoperto completamente o parzialmente da spesse placche ossee. Pesci con un arco dentale sono comparsi nel Siluriano. Gli squali, che hanno lo scheletro costituito da cartilagine, sono documentati dal Devoniano.
Nelle Alpi Carniche resti di pesce macroscopici sono molto rari: un frammento osseo dalla Chianevate e una placca ossea dall'area di Pramosio. Sono invece relativamente comuni i dentini di dimensioni microscopiche (Fig. **55**) nelle rocce di mare aperto del Devoniano Superiore.

Altri organismi

Nel Devoniano delle Alpi Carniche sono presenti anche testimonianze fossili di altri gruppi di organismi, oltre a quelli descritti precendentemente. Si tratta soprattutto di organismi microscopici, non osservabili sul terreno, ma studiabili solo al microscopio dopo che le rocce sono state trattate in laboratorio. Tra questi ricordiamo i foraminiferi, gli ostracodi, i chitinozoi e le microalghe calcaree.

CAVE, MINIERE E MINERALI

Le cave

Il Devoniano è certamente noto per le sue "scogliere" e per fossili in esse presenti, ma anche per l'utilizzo delle sue rocce come materiali ornamentali. I "marmi", così vengono impropriamente definiti, hanno quindi una certa importanza commerciale. I primi studi sui marmi carnici risalgono a Taramelli (1877), successivamente Gortani (1927), si occupò più in dettaglio dei marmi di Timau, per terminare con il più approfondito lavoro sui marmi del Friuli redatto da Carulli e Onofri (1966).

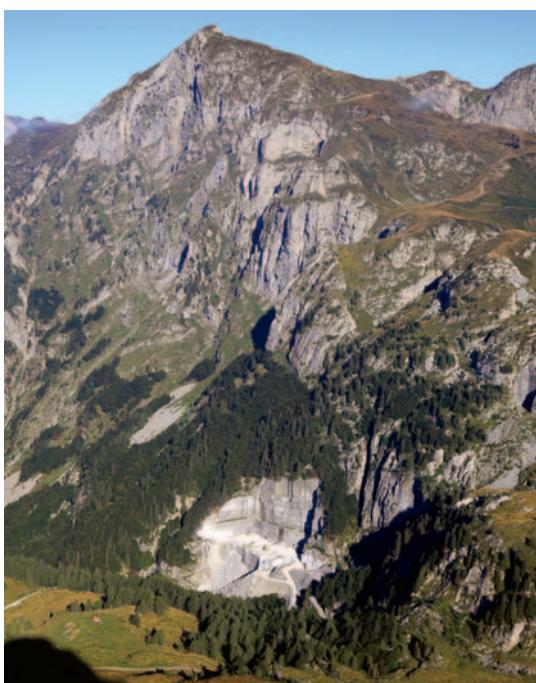
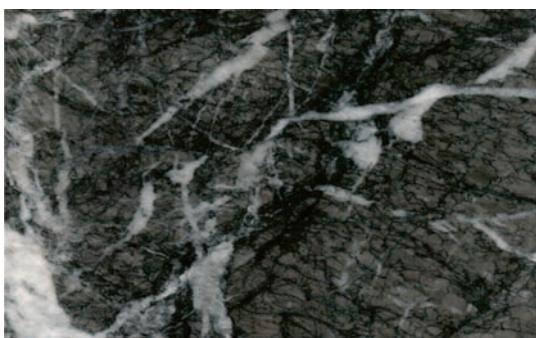
In passato l'attività estrattiva era piuttosto diffusa in Carnia ma oggi le cave in attività, condotte da imprese prevalentemente di dimensione medio-piccola, sono poche; le cause sono da ricercare non solo nella gestione industriale dell'attività estrattiva, ma anche nel fatto che le cave si aprono in ambienti montani dove l'impatto ambientale è notevole ed elevati sono i costi di trasporto. La soluzione per ridurre l'impatto ambientale è la coltivazione in sotterraneo come avviene attualmente a Pierabech (Forni Avoltri, Fig. **61**) per estrarre il "Fior di Pesco Carnico". Poche sono rimaste le realtà estrattive: Clap di Naguscel e Monte Avanza a Forni Avoltri, Malga Pramosio (Fig. **58**) e Val di Collina in comune di Paluzza.

Nella Cava di Naguscel si estrae un calcare compatto, grigio chiaro con numerose vene e plaghe di calcite spatica bianca, talvolta d'aspetto vitreo, superfici stilolitiche e ramificazioni a pigmentazione carboniosa nerastra ("Grigio Carnico", Fig. **59**).

Nella cava in località Laghetti di Timau, si estrae il cosiddetto "Rosso Oniciato", un calcare micritico brecciato ("Formazione di Pal Grande" del Devoniano Sup. - Carbonifero inf., Fig. **57**): è un materiale che si differenzia dagli altri "marmi" della zona per i suoi cromatismi, dovuti a un alternarsi di bande ben sviluppate a diversa pigmentazione che, regolarmente parallele fra di loro, si presentano di colore rossastro alternato al grigio e sono solcate trasversalmente da vene di calcite bianca.

57 > Il Monte Capolago, costituito da calcari devoniani di scogliera; in primo piano i calcari rossi pelagici devoniani.

Il Distretto marmifero di Forni Avoltri, posto all'estremo nord-occidentale della Catena Paleocarnica, è caratteristico per la produzione del "Fior di Pesco Carnico" (Fig. **60**), ottenuto dai calcari di scogliera devoniani legger-

mente metamorfosati. Presenta un color grigio chiaro-biancastro, con delicate macchie roseo-violacee dovute a pigmentazione ematitico-manganesifera che ne giustificano la denominazione; grazie alle sue particolari tonalità cromatiche, unitamente alle sue buone caratteristiche tecniche, è stato ampiamente utilizzato in edifici italiani ed esteri.

58 > La cava di Pramosio dalla quale viene cavato Grigio Carnico dai livelli del Devoniano superiore.

L'architetto Cesar Pelli lo ha usato per i pavimenti e le scalinate del Winter Garden di New York, lo si trova, sempre a New York, negli ascensori dell'Empire State Building ed era presente anche nelle tristemente famose Twin Towers. Giovanni Michelucci, uno dei maggiori architetti italiani del XX secolo, utilizzò nel 1935 il Fior di Pesco per realizzare la Palazzina Reale affiancata alla stazione di Santa Maria Novella a Firenze.

Le miniere e le mineralizzazioni

La presenza di mineralizzazioni e di concentrazioni utili allo sfruttamento minerario è connessa alla paleogeografia del Devoniano Superiore. Le scogliere devoniane sono state interessate non solo da variazioni del livello marino, ma anche da fasi tettoniche che ne hanno dislocato porzioni, abbassandole o alzandole rispetto al livello marino.
Le parziali emersioni hanno favorito lo sviluppo del carsismo con la formazione di doline e altre forme nelle quali precipitavano elementi metallici dalle acque che ricoprivano le piattaforme carbonatiche. Si trattava principalmente di rame, argento, bario, zinco, fluoro e mercurio, che hanno formato, reagendo con zolfo e calcio, solfuri e carbonati metallici. È verso l'argento che si sono concentrati

59 > Grigio Carnico.

60 > Fior di Pesco Carnico.

61 > La coltivazione in sotterraneo nella cava di Pierabech (Forni Avoltri).

STEINBRÜCHE, BERGWERKE UND MINERALIEN

Die Steinbrüche

Das Devon ist sicher bekannt für seine „Korallenriffe" und die dort eingeschlossenen Fossilien, doch ebenfalls für die Verwendung des Gesteins als Ornamentmaterial. Die fälschlicherweise als „Marmor" bezeichneten Steine besitzen daher eine gewisse kommerzielle Bedeutung. Die ersten Studien zum Karnischen Marmor gehen auf Taramelli (1877) und später Gortani (1927; vertiefende Arbeit über den Timau-Marmor) zurück, und werden vom umfassenderen Werk über den Marmor in Friaul (Carulli und Onofri, 1966) abgeschlossen. In der Vergangenheit war die Abbautätigkeit in Karnien recht verbreitet; heute jedoch gibt es nur noch wenige, meist von klein- bis mittelständischen Betrieben geführte aktive Steinbrüche: Clap di Naguscel und Monte Avanza (hier wird Untertage abgebaut) in Forni Avoltri (Abb. **61**), sowie Malga Pramosio (Abb. **58**) und Val di Collina in der Gemeinde Paluzza. In der Vergangenheit wurde aus den Devongesteinen in Karnien viel Marmor abgebaut. Er kann drei Haupttypen und ihren Sorten zugeordnet werden: Grauer Karnischer Marmor, (Abb. **59**) ‚Pfirsichblüte' und verschiedene Rote Marmen. Derzeit wird vorwiegend ein kompakter Marmor mit grauer Grundfärbung und unzähligen Calcitvenen und -strichen, aus dem einige Typen des Karnischen Grauen Marmors gewonnen werden. „Roter Onyxmarmor" (Abb. **57**) stammt von brekziiertem Mikritkalk, dem so genannten „Pal-Grande-Kalkgestein" aus dem Unterdevon-Unterkarbon; in diesem Material wechseln sich gut entwickelte Bänderungen unterschiedlicher Pigmentation ab. Der Marmor „Karnische Pfirsichblüte" (Abb. **60**) wird aus den leicht metamorphosierten Kalken der Devonriffe gewonnen, ist hellgrau-weißlich gefärbt, mit feinen rosa Flecken. Giovanni Michelucci, einer der größten italienischen Architekten des 20. Jahrhundert, verwendete im Jahr 1935 karnische Marmen für den Bau des königlichen Palasts neben dem Bahnhof Santa Maria Novella in Florenz. Der Architekt Cesar Pelli wählte Pfirsichblüte für die Gestaltung der Bodenbeläge und Treppen im Winter Garden von New York, sowie für die Verkleidung der Seitenwände und die Fußböden im Innenbereich des neuen World Financial Center in New York. Der gleiche Marmor befindet sich - ebenfalls in New York - in den Aufzügen des Empire State Buildings und war auch in den aus traurigem Anlass bekannt gewordenen Twin Towers vorhanden.

Bergwerke und Minerale

Das Vorkommen von Mineralisierungen und ausreichend großen Konzentrationen für den Mineralabbau ist eng mit der Paläografie im Oberdevon verbunden. Die devonischen Korallenriffe waren nicht nur den Schwankungen des Meeresspiegels ausgesetzt, sondern auch tektonischen Phasen, bei denen durch Anheben oder Absenken ganze Teile des Riffs über bzw. unter den Meeresspiegel verschoben und versetzt wurden. Diese Auftauchphasen von Riffteilen begünstigten die Verkarstung und es entstanden Dolinen und andere Karsterscheinungen; dort kam es in dem die Karbonatplattformen bedeckenden Wasser zur Ausfällung von Metallelementen (hauptsächlich Kupfer, Silber, Barium, Zink, Fluor und Quecksilber), die anschließend durch die Reaktion mit Schwefel und Calcium Sulfide und Metallsalze bildeten. Forschung und Abbau konzentrierten sich auf das Silber; dies ist urkundlich belegt und geht im Fall des Bergwerks am Monte Avanza auf einen Nachlass des Herzogs Masselio von Friaul im Jahr 778 n. Chr. an das Kloster in Sesto al Reghena zurück. Eine frühere Nutzung ist nicht ausgeschlossen, doch es liegen zum heutigen Zeitpunkt keine Beweise hierfür vor.

Das Bergwerk am Monte Avanza

An den Südhängen des Kalkmassivs des Monte Avanza (Forni Avoltri, Abb. **62**) sind die mittlerweile stark verwitterten Spuren des Tagebaus sowie eines

62 > Le Pendici meridionali del Monte Avanza: nei calcari devoniani debolmente metamorfosati si aprono alcune gallerie minerarie.

ricerca e sfruttamento, come testimoniato da documenti che ci riportano, per la miniera del Monte Avanza, al 778 d.C. grazie a un lascito del duca del Friuli Masselio al Monastero di Sesto al Reghena. Non si escludono sfruttamenti più antichi le cui testimonianze, allo stato attuale, non sono state individuate.

La miniera del Monte Avanza

Alle pendici meridionali del massiccio carbonatico del Monte Avanza (Forni Avoltri, Fig. **62**), oramai parzialmente celati dagli agenti atmosferici, si intravedono lavori estrattivi superficiali e una galleria impostata lungo una faglia, definita dagli autori del diciannovesimo secolo "Galleria antica". Tutti i lavori estrattivi e di ricerca più recenti hanno cancellato le antiche tracce di lavorazione: l'unico indizio, oltre alla "Galleria antica", è presente nella Cengia del Sole dove si può notare un abbozzo di galleria medioevale scavata con mazza e punta con, sul fondo, i classici gradini di lavorazione. Presso l'imbocco delle gallerie veniva effettuata la cernita eliminando lo "sterile" cioè la roccia non mineralizzata; la lavorazione continuava lungo il Rio Avanza in località "Pistons" o "Pestons" dove la tetraedrite, un solfosale di rame con argento, veniva polverizzata dalla forza di pistoni in legno con testa in ferro ritmicamente alzati ed abbassati dalla forza dell'acqua del rio. La lavorazione continuava poi per separare il rame dall'argento ed infine, a Pierabech - presso l'attuale colonia Comunità San Marco - il minerale raffinato veniva convogliato nei forni fusori per ottenere lingotti di rame e d'argento. Dei forni fusori rimane una bocca di carico in pietra che ora funge da altare all'aperto. La resa era buona, come testimonia, nel 1540, Vannoccio Biringuccio nel suo *De la Pirotechnia.*

La coltivazione si estese in sotterraneo raggiungendo le mineralizzazioni con gallerie puntellate dal legname dei boschi circostanti (Fig. **63**). L'attività estrattiva continuò, con alterne vicende, fino al 1945. Non furono solo gli eventi bellici responsabili della chiusura della miniera, ma anche la riduzione delle zone mineralizzate e gli elevati costi di produzione. Nel 1985, per valutare le residue potenzialità del giacimento del Monte Avanza, fu scavata la galleria "Finselpol" che intercettava i vecchi lavori in zone non interessate dai crolli. I risultati, seppur positivi per quanto riguardava il contenuto d'argento, non lo erano per i costi di trasporto del minerale e l'impatto ambientale (Fig. **64**).

Sono passati oltre 1200 anni dalle prime testimonianze e quello che rimane a simboleggiare un'intensa attività estrattiva è il villaggio minerario, le gallerie Sella, Bauer e Mulazzani, mentre molte altre sono franate. Spettaco-

63 > La galleria Mulazzani sul Monte Avanza.

lare alla vista è la Cava Verde una parete del Monte Avanza completamente verde con spalmature azzurre che testimonia la presenza di carbonati di rame quali malachite e azzurrite, prodotti di alterazione della tetraedrite.

La miniera di San Giorgio di Comeglians

La presenza di rocce devoniane così a Sud rispetto ai principali affioramenti è dovuta a fenomeni tettonici legati all'orogenesi alpina: il contesto geologico locale, infatti, è complicato dallo smembramento della compagine calcarea in più scaglie tettoniche.

Le prime testimonianze di minerali metallici in questa zona si devono a Taramelli (1869) che attesta la presenza di solfuri di ferro e piombo. Marinoni (1881) menziona la presenza di tetraedrite e dei minerali di alterazione quali azzurrite e malachite. Vani sono stati i tentativi iniziati nel 1940 di avviare uno sfruttamento che interessasse i metalli più nobili (Fig. **65**). La realtà fu deludente l'unico mine-

64 > Il Monte Avanza: in primo piano il villaggio minerario degli anni Ottanta.

entlang der Verwerfungslinie angelegten Stollens zu erkennen, der von Autoren im 19. Jahrhundert als „Galleria Antica" (Alter Stollen) bezeichnet wurde. Alle in jüngeren Zeiten vorgenommen Abbau- und Forschungstätigkeiten haben die Spuren der antiken Tätigkeiten verwischt. Neben dem Alten Stollen ist der einzige Beweis für einen antiken Mineralabbau an der Cengia del Sole zu finden: die dortigen Spuren zeugen von dem Versuch, einen Stollen anzulegen. Die Grabungsart mit Hilfe von Schlägel und Eisen und die am Ende vorhandenen klassischen Bearbeitungsstufen deuten auf das Mittelalter hin.

Am Eingang des Stollens wurde das Material an der Klaubtafel einer ersten Auswahl unterzogen und das „taube", also nicht mineralisierte Gestein aussortiert. Die weitere Verarbeitung erfolgte am Rio Avanza bei einer Ortschaft namens „Pistons" oder „Pestons": dort wurde das Tetraedrit, ein Kupfersulfosalz mit Silber, mithilfe von Holzstößern mit Eisenkopf, die durch Wasserkraft rhythmisch angehoben und abgesenkt wurden, zu Pulver zerkleinert. Anschließend erfolgte die Trennung des Kupfers vom Silber und das raffinierte Mineral wurde schließlich in Pierabech (bei der heutigen Ferienstätte der Kirchengemeinde San Marco) in den Schmelzöfen der dortigen Gießerei zu Kupfer- bzw. Silberbarren geformt. Von den Schmelzöfen ist nur eine steinerne Beschickungsöffnung erhalten, die heute als Freiluftaltar dient. Die Ausbeute war recht gut, wie Vannoccio Biringuccio in seinem Werk „De la Pirotechnia" aus dem Jahr 1540 bezeugt. Die Gewinnung wurde untertage ausgeweitet; zur Abstützung der Zugangsstollen zu den Mineralisierungslagerstätten kam Holz aus den umliegenden Wäldern zum Einsatz (Abb. **63**). Der Silberabbau zog sich mit vielen Auf und Ab bis 1945 hin. Für die Stilllegung des Bergwerks waren nicht allein die Kriegshandlungen verantwortlich, sondern

65 > Il saggio minerario presente a San Giorgio di Comeglians.

66 > Malachite e azzurrite sono presenti anche su blocchi isolati alle pendici della Cima Avostanis.

rale abbastanza diffuso era la baritina, un solfato di bario impiegato nell'industria dei pigmenti, della carta e della gomma, ma essendo inquinato da altri metalli anche quest'ultima possibilità fu negletta. Chi si reca a San Giorgio di Comeglians, seguendo il sentiero della Via Crucis, noterà alcuni saggi minerari e spalmature azzurre e verdi, ma soprattutto estese masse biancastre di baritina; altri saggi sono presenti nella zona ed anche a Povolaro. I lavori più importanti sono stati realizzati nel 1940 da una ditta locale, Marcello Stua, con due gallerie sul versante sinistro del Rio da Rossa a quota 538 m, la galleria inferiore lunga 95 m, e a 580 m, la galleria superiore, denominata Egidio Watschinger, lunga 165 m. Entrambe sono ora franate e si possono solo intuire i possibili ingressi grazie a due evidenti anomalie di acclività lungo il versante.

Le miniere di Timau

Le prime notizie minerarie su Timau (Paluzza) sono riportate da Paolo Santonino nella descrizione del suo "*Itinerarium*" in cui descrive le visite pastorali del vescovo Pietro Capreolo in queste regioni negli anni 1485-1487 quando viene raggiunto il paese di Timau noto per la sua fonte e per una nuova miniera dove si separava l'argento dalla vena con un mantice. Le notizie continuano per tutto il XVI secolo e gli ultimi documenti, datati 1578, attestano come lo sfruttamento minerario, che interessava diverse zone limitrofe, fosse abbastanza continuo.

Curiosa è la vicenda di Massimiliano, detto "Reisocher", che oltre a gestire una locanda aveva in concessione alcune miniere a Timau, forse sul Pal Grande: fu accusato dal Cavalier Gabriele Vando da Sacile di infedeltà ai principi della Chiesa Cristiana e per questo processato dal tribunale dell'Inquisizione di Udine. Massimiliano fu assolto perché dimostrò che Gabriele Vando, già possessore di un'investitura sui boschi e le miniere della zona, l'aveva denunciato solo per portagli via le sue miniere. Nel 1690, quando il geografo Coronelli rappresentò la Patria del Friuli (con il Lago Moscardo), oramai l'attività estrattiva e le miniere erano solo un ricordo: la sua carta riporta "Le miniere antiche di rame". Nel 1856 vengono segnalate due gallerie minerarie, una presso Malga Pramosio e l'altra sulla Cima Avostanis. Quella presso Malga Pramosio (Fig. **67**) è sicuramente medioevale ed ha seguito un filone di tetraedrite: sono presenti sulle pareti tracce di lavorazione al fuoco e

67 > Galleria mineraria medioevale presso Malga Pramosio. Lunga 33 m, presenta la classica sezione a ogiva (160x50-80 cm) e termina con uno stretto cunicolo ove è stato rinvenuto un martello in ferro di età medioevale.

alla mazza e picca e all'ingresso è presente la scritta "KUNG" incisa con scalpello.
La galleria sulla Cima Avostanis non è facilmente identificabile a causa delle modifiche legate al conflitto 1915/18. Si può ipotizzare che la seconda galleria sia posta a nord della Cima Avostanis dove ora è presente una galleria utilizzata come ricovero militare. L'ampliamento della galleria medioevale ha creato un talus di rocce mineralizzate (Fig. **66**) ed è probabile che essa rappresenti effettivamente l'antica galleria. Lo storico Girardi (1841-42) segnala di aver osservato i resti di forni fusori nella località "schmelzhütte" (fornace fusoria). I toponimi, le patine azzurre e verdi e la galleria medioevale sono le ultime testimonianze di un'attività che ha segnato economicamente e culturalmente, per circa un secolo, la popolazione dell'alta Valle del Bût.

68 > Malachite (Monte Avanza, 15x).

Le mineralizzazioni
Senza dubbio quello del Monte Avanza è il sito mineralogico più importante dell'intera area carnica, con numerose specie minerali interessanti anche da un punto di vista estetico: studi recenti hanno portato a nuovi ritrovamenti, con oltre sessanta specie di minerali differenti. La mineralizzazione, abbondante e ben visibile, è localizzata in prevalenza lungo il contatto tra i calcari devoniani e terreni carboniferi.
In questi ultimi anni gli studi mineralogici nell'area di San Giorgio di Comeglians hanno messo in risalto una particolare somiglianza con il sito del Monte Avanza per quanto riguarda la genesi dei minerali. Benché presentino situazioni geologiche differenti (San Giorgio è legata a una scaglia tettonica che fa affiorare terreni silurico-devoniani con copertura carbonatica debolmente metamorfosata), le due località conservano minerali molto simili e dominano le specie formatesi per alterazione della tetraedrite in ganga spesso baritica. Senza soffermarsi nell'elenco di tutti i minerali, ci limiteremo a citare i più diffusi o interessanti. Oltre alla calcite, i carbonati più frequenti sono azzurrite e malachite (Fig. **68**). Si rinvengono frequentemente microcristalli di calcofillite, langite, linarite e mimetite (Fig. **70**). Interessanti esteticamente, anche se rari sono i

auch die Abnahme der mineralisierten Zonen sowie die hohen Produktionskosten. Im Jahr 1985 wurde zur Einschätzung des verbliebenen Potenzials der Lagerstätte der „Finselpol"-Stollen gegraben, der zu den alten Arbeitsstätten in jenen Zonen führte, die nicht von Einstürzen betroffen waren. Die Ergebnisse waren durchaus positiv was den Silbergehalt anbelangte, nicht jedoch was die Transportkosten des Minerals und die Umweltauswirkungen betraf (Abb. **64**). Seit den ersten Belegen sind über 1200 Jahre vergangen und heute verbleiben als Erinnerung an eine intensive Abbautätigkeit nur die Siedlung der Bergleute sowie die Stollen namens Sella, Bauer und Mulazzani (viele andere sind eingefallen). Einen spektakulären Anblick bietet die „Cava Verde", eine komplett grüne Wand mit blauen Einstrichen am Monte Avanza; hier finden sich Kupferkarbonate wie Malachit und Azurit, die Alterationsprodukte von Tetraedrit.

Das Bergwerk San Giorgio bei Comeglians

Das Vorkommen von devonischem Gestein so weit südlich der hauptsächlichen Aufschlüsse kann durch tektonische Vorgänge im Rahmen der alpidischen Orogenese erklärt werden: die lokalen geologischen Gegebenheiten sind aufgrund der Zerstückelung des Kalksteingefüges in mehrere kleinere tektonische Platten recht kompliziert. Die ersten Belege für Erzvorkommen in dieser Gegend stammen von Taramelli (1869), der das Vorkommen von Eisen- und Bleisulfiden nachweist. Marinoni (1881) erwähnt das Vorkommen von Tetraedrit und von Alterationsmineralen (z.B. Azurit und Malachit). Die im Jahr 1940 gestarteten Versuche, die Gewinnung von Edelmetallen in Gang zu bringen (Abb. **65-66**), scheiterten kläglich an der enttäuschenden Realität. Das einzige, einigermaßen verbreitete Mineral war Schwerspat (Baryt), ein Bariumsulfat, das in der Industrie für die Produktion von Farbpigmenten, Papier und Gummi Verwendung findet; da es jedoch Verunreinigungen anderer Metalle enthielt, wurde auch diese letzte Möglichkeit verworfen. Wer sich auf dem Wanderweg der Via Crucis San Giorgio bei Comeglians nähert, dem fallen einige Erkundungsbohrungen mit blauen und grünen Einstrichen auf, aber vor allem auch ausgedehnte weißliche Barytmassen; weitere Erkundungsbohrungen befinden sich in derselben Gegend und bei Povolaro. Die umfassendsten Arbeiten wurden 1940 von einer ortsansässigen Firma (Marcello Stua) durchgeführt. Sie legte zwei Stollen am linken Ufer des Rio da Rossa an: der untere ist 95 m lang und befindet sich in 538 m Höhe; der obere Stollen namens Egigio Watschinger ist 165 m lange und liegt auf 580 m. Beide Stollen sind mittlerweile eingestürzt und ihre möglichen ehemaligen Eingänge nur dank zweier auffälliger Erhebungsanomalien am Hang auszumachen.

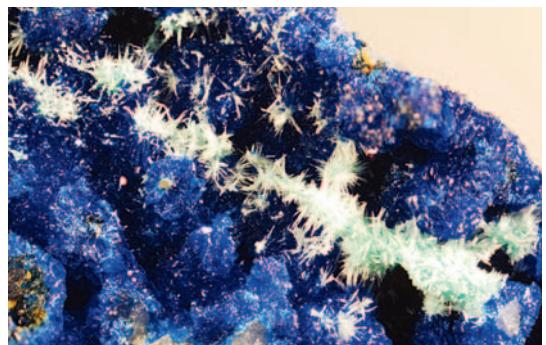
Die Bergwerke von Timau

Die ersten Erwähnungen des Bergbaus in Timau (Paluzza) stammen von Paolo Santonino und sind in seinem „Itinerarium" zu finden, in dem er die Pastoralreisen des Bischofs Pietro Capreolo von 1485 bis 1487 in diese Gegend beschreibt; dort erwähnt er Timau als Ort, der für seine Quelle und für ein neues Bergwerk bekannt ist, wo das Silber mit einem Blasebalg von der Ader getrennt wurde. Weitere Hinweise stammen aus dem gesamten 16. Jahrhundert und die letzten vorhandenen Dokumente aus dem Jahr 1578 belegen, dass der recht kontinuierlich erfolgende Mineralabbau auch mehrere angrenzende Zonen betraf. Eine interessante Anekdote betrifft Massimiliano, genannt „Reisocher", der neben dem Betrieb eines Wirtshauses auch die Konzession für mehrere Bergwerke in Timau (vielleicht am Großen Pal) besaß: er wurde vom Cavalier Gabriele Vando da Sacile wegen angeblicher Abwendung von den christlichen Kirchenprinzipien angeklagt und der Prozess fand vor dem Inquisitionsgericht Udines statt. Massimiliano wurde freigesprochen, da er nachweisen konnte, dass Gabriele Vando, der vormals Besitzrechte auf die Wälder und Bergwerke dieser Gegend besessen hatte, ihn nur denunziert hatte, um ihm seine Bergwerke wieder abzunehmen. Als der Geograf Coronelli 1690 die „Patria del Friuli", Heimatland Friaul (mit dem Moscardo-See) anfertigt, sind die Abbautätigkeiten und Bergwerke bereits nur mehr eine vage Erinnerung, und auf der Karte findet sich lediglich der Vermerk „antike Kupferminen". Im Jahr 1856 werden zwei Mineralstollen gemeldet: einer bei der Pramosio-Alm und der andere am Pizzo Avostanis. Der Stollen bei der Pramosio-Alm stammt mit Sicherheit aus dem Mittelalter und folgte einem Tetraedritgang; an den Wänden befinden sich deutliche Spuren der Abbautätigkeit mit Feuersetzung und mit Schlägel und Eisen, und am Stolleneingang ist die Inschrift „KUNG" ins Gestein eingemeißelt (Abb. **67**). Der Stollen am Pizzo Avostanis ist infolge der Veränderungen im Ersten Weltkrieg nicht leicht zu erkennen. Vermutlich verlief der zweite Stollen links vom Pizzo Avostanis, an der Stelle, wo sich heute ein als Unterstand für das Militär genutzter Tunnel befindet. Bei der Erweiterung des mittelalterlichen Stollens entstand eine Halde aus mineralisiertem Gestein und daher ist es wahrscheinlich, dass es sich tatsächlich um

den antiken Stollen handelt. Der Historiker Girardi (1841-42) meldet die Sichtung der Überreste von Schmelzöfen bei der Ortschaft „Schmelzhütte". Die Ortsnamen, die blauen und grünen Einstriche, sowie der mittelalterliche Stollen sind die letzten Beweise für eine Tätigkeit, die über ein Jahrhundert hinweg in wirtschaftlicher und kultureller Hinsicht prägenden Einfluss auf die Bevölkerung im Bût-Tal hatte.

Mineralisierungen

Zweifelsohne ist Monte Avanza des bedeutendste Mineralvorkommen ganz Karniens: die über 60 beteiligten Mineralarten sind auch aus ästhetischer Sicht sehr interessant. Mineralisierungen sind häufig und deutlich erkennbar; sie sind hauptsächlich entlang des Kontaktbereichs zwischen den Devonkalken und den Karbonböden zu finden. In den letzten Jahren haben mineralogische Studien in der Gegend von San Giorgio bei Comeglians hinsichtlich der Mineralentstehung eine besondere Ähnlichkeit mit dem Vorkommen am Monte Avanza festgestellt. Trotz unterschiedlicher geologischer Voraussetzungen (San Giorgio ist an ein tektonisches Fragment gebunden, bei dem Aufschlüsse silur-devonischer Böden mit leicht metamorphosierter Kabonatdeckschicht entstehen) enthalten beide Orte sehr ähnliche Mineralien und es herrschen die Arten vor, die sich durch Umwandlung von Tetraedrit in häufig barytische Gangarten bilden. Um nicht alle Mineralien aufzulisten, werden an dieser Stelle nur die verbreitetsten bzw. interessantesten erwähnt. Neben Calcit gehören Azurit und Malachit zu den am häufigsten vorkommenden Karbonaten (Abb. **68**). Es werden oft Mikrokristalle aus Chalkophyllit, Langit, Linarit und Mimetit gefunden (Abb. **70**). Schön anzusehen sind die eher seltenen Mikrokristalle von Cerussit und Cualstibit, aber auch der häufiger anzutreffende Quarz und Anglesit. Schließlich muss noch das äußerst seltene Mallestigit vom Monte Avanza erwähnt werden, da es sich um die weltweit drittgrößte Fundstelle handelt (Abb. **69**). Vor kurzem wurden ebenfalls systematische Untersuchungen am Hocheck durchgeführt, insbesondere in der Gegend um den Avostanis-See; interessant sind diese einerseits aufgrund der geschichtlichen Bedeutung des Ortes und andererseits aufgrund der festgestellten Typenvielfalt auf solch engem Raum. Auch in diesem Fall sind geologische Unterschiede zu den beiden vorhergehenden Fundstellen vorhanden, doch die Paragenese entspricht in gewisser Weise der bereits betrachteten, mit reichlichen Mineralen aus der Umwandlung von Tetraedrit.

69 > Microcristallo di Mallestigite (Monte Avanza, 70x).

70 > Mimetite e azzurrite (Monte Avanza, 25x).

microcristalli di cerussite e "cualstibite", oltre ai più frequenti anglesite e quarzo. Infine, non si può non citare la rarissima mallestigite del Monte Avanza, trattandosi del terzo ritrovamento mondiale (Fig. **69**). Ultimamente sono state condotte ricerche sistematiche anche presso il Lago Avostanis (Creta di Timau), interessanti sia per l'importanza storica del sito, sia per la varietà di specie individuate in un'area così ristretta. Anche in questo caso la geologia mostra aspetti non comuni con i due siti precedenti, ma la paragenesi ricalca in qualche modo quella già vista, con abbondanti minerali di alterazione della tetraedrite.

BIBLIOGRAFIA

Paleozoico Carnico

Aa. Vv., 1983. Il Paleozoico Carnico. Catalogo della mostra. *Museo Friulano di Storia Naturale*, 132 pp.

Brime C., Perri M.C., Pondrelli M., Spalletta C. & Venturini C., 2008. Polyphase metamorphism in the eastern Carnic Alps (N Italy'S Austria): Clay minerals and conodont Colour Alteration Index evidence. *Intern. Journal of Earth Sciences*, 97: 1213-1229.

Corradini C., Corriga M.G., Kido E., Muscio G., Pondrelli M., Suttner T.J., Simonetto L. & Spalletta C., 2013. *Cason di Lanza*. Le guide del Geoparco della Carnia, 1: 48 pp.

Corradini C., Pondrelli M., Corriga M.G., Simonetto L., Kido E., Suttner T.J., Spalletta C. & Carta N., 2012. Geology and stratigraphy of the Cason di Lanza area (Mount Zermula, Carnic Alps, Italy). *Ber. Institutes für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz,* 17: 83-103.

Corradini C., Pondrelli M., Schönlaub H.P. & Suttner T.J., 2017. The Palaeozoic of the Carnic Alps: an overview. *Ber. Institutes für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz,* 23: 203-211.

Corradini C., Pondrelli M., Simonetto L., Corriga M.G., Spalletta C., Suttner T.J., Kido E., Mossoni A. & Serventi P., 2016. Stratigraphy of the La Valute area (Mt. Zermula massif, Carnic Alps, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 55: 55-78.

Corradini C., Pondrelli M., Suttner, T.J. & Schönlaub H.P., 2015. The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps. *Ber. der Geolog. Bundes.*, 111: 5-40.

Corradini C., Schönlaub H.P., Pondrelli M., Simonetto L., Corriga M.G., Suttner T.J. & Kido E., 2012. A short overview on the Palaeozoic sequence of the Carnic Alps. *Ber. Inst. für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz,* 17: 65-70.

Corradini C. & Suttner T.J. (eds), 2015. The Pre-Variscan sequence of the Carnic Alps (Austria and Italy). *Abhand. der Geolog. Bundes.*, 69: 158 pp.

Frech F., 1894. Die Karnischen Alpen: Ein Beitrag zur vergleichenden Gebirges-Tektonik. *Abhand. der Naturf. Ges. zu Halle*, 18: 514 pp.

Gaertner H.R. von, 1931. Geologie der Zentralkarnischen Alpen. *Denk.der Österr. Akad. Wissens., math.-naturwiss. Klasse*, Abteilung 1, 102: 113-199.

Herzog U., 1988. Das Paläozoikum zwischen Poludnig und Oisternig in den Östlichen Karnischen Alpen. *Carinthia II*, 47: 1-123.

Hubmann, B., Pohler, S., Schönlaub, H.-P. & Messner F., 2003. Paleozoic Coral-Sponge Bearing Successions in Austria. *Ber. der Geolog. Bundes.*, 61: 91 pp.

Kreutzer L.H., 1990. Mikrofazies, Stratigraphie und Paläogeographie des Zentralkarnischen Hauptkammes. *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 133: 275-343.

Perri M.C. & Spalletta C (eds), 1998. Southern Alps Field Trip Guidebook, ECOS VII. - *Giornale di Geologia*, s. 3, 60, Spec. Issue: 329 pp.

Pondrelli M., 2002. Thermal history of the Carnic Alps (NE Italy - Austria) using CAI Analysis. *Riv. It. Paleont. e Strat.*, 108: 369-380.

Pondrelli M., Corradini C., Corriga M.G., Kido E., Mossoni A., Simonetto L., Spalletta C., Suttner T. & Carta N., 2015. Depositional and deformational evolution of a Lower Paleozoic portion of the Southalpine domain: the Mt. Pizzul area (Carnic Alps, Italy). *International Journal of Earth Sciences*, 104: 147-178.

Schönlaub H.P., 1979. Das Paläozoikum in Österreich: Verbreitung, Stratigraphie, Korrelation, Entwicklung und Paläogeographie nicht-metamorpher und metamorpher Abfolgen. *Abhand. der Geolog. Bundes.*, 33: 1-109.

Schönlaub, H.P., 1991. *Vom Urknall zum Gailtal - 500 Millionen Jahre Erdgeschichte in der Karnischen Region*. Hermagor: Verlag der Geol. Bundes., 3. Auflage: 169 pp.

Schönlaub H.P. (ed.), 1997. IGCP-421 Inaugural Meeting Vienna, Guidebook. *Ber. der Geolog. Bundes*, 40: 134 pp.

71 > La Creta di Collinetta/Cellon vista da est.

SCHÖNLAUB H.P., ATTREP M., BOECKELMANN K., DREESEN R.J.M.J., FEIST R., FENNINGER A., HAHN G., KLEIN P., KORN D., KRATZ R., MAGARITZ M., ORTH CH.J. & SCHRAMM J.M., 1992. The Devonian/Carboniferous Boundary in the Carnic Alps (Austria) - A Multidisciplinary Approach. *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 135: 57-98.

SCHÖNLAUB H.P. & HISTON K.. 1999. The Palaeozoic of the Southern Alps. In: HISTON K. (ed.), V International Symposium, Cephalopods - Present and Past. Carnic Alps. Excursion Guidebook. *Ber. der Geolog. Bundes*, 47: 6-30.

SCHÖNLAUB H.P. & HISTON K., 2000. The Palaeozoic Evolution of the Southern Alps. *Mitt. der Österreich. Geol. Gesell.*, 92: 15-34.

SCHÖNLAUB H.P. & KREUTZER L.H. (Eds), 1994. Field Meeting Eastern + Southern Alps, Austria, Guidebook + Abstracts. *Ber. der Geolog. Bundes*, 30, 1-156.

SELLI R., 1963, Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali. *Giorn. Geol.*, s. 2, 30: 1-121.

SPALLETTA C., VAI G.B. & VENTURINI C., 1982. La Catena Paleocarnica. In: CASTELLARIN A. & VAI G.B. (eds) *Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale*. Guide Geologiche Regionali, Soc. Geol. It.: 281-292.

VAI G.B., 1976. Stratigrafia e paleogeografia ercinica delle Alpi. *Mem. Soc. Geol. It.*, 13, 7-37.

VAI G.B., VENTURINI C., CARULLI G.B. & ZANFERRARI A. (a cura di), 2002 - *Alpi e Prealpi Carniche e Giulie*. Guide Geologiche Regionali della Soc. Geol. It., BEMA ed.: 390 pp.

VENTURINI C., 1990. Geologia delle Alpi Carniche centro orientali. *Mus. Friul. di St. Nat. Pubbl.*, 36: 220 pp.

VENTURINI C., 2006. Evoluzione geologica delle Alpi Carniche. *Mus. Friul. di St. Nat. Pubbl.,* 48: 208 pp.

VENTURINI C., PONDRELLI M., FONTANA C., DELZOTTO S. & DISCENZA K., 2001-2002 *Carta geologica delle Alpi Carniche, alla scala 1:25.000*. S.EL.CA. Firenze.

VENTURINI C. & SPALLETTA C., 2009. Da Pramollo al M. Coglians (Alpi Carniche). Itinerario numero 2. In: *Via Geoalpina itinerari italiani. Un'escursione nello spazio e nel tempo*. Tipolitografia CSR: 28-51.

Devoniano

ALBERTI G.K.B., 1985. Zur Tentaculitenführung im Unter- und Mittel-Devon der Zentralen Karnischen Alpen (Österreich). *Cour. Forschungs Inst. Senckenberg*, 75: 375-388.

BANDEL K., 1969. Feinstratigraphische und biofazielle Untersuchungen unterdevonischer Kalke am Fuß der Seewarte (Wolayer See: zentrale Karnische Alpen). *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 112: 197-234.

BANDEL K. & BECKER G., 1975. Ostracoden aus paläozoischen pelagischen Kalken der Karnischen Alpen (Silurian bis Unterkarbon). *Senckenberg. lethaea*, 56: 1-83.

CORRADINI C. & CORRIGA M.G., 2010. Silurian and lowermost Devonian conodonts from the Passo Volaia area (Carnic Alps, Italy). *Boll. Soc. Paleont. It.,* 49: 237-253.

CORRADINI C. & CORRIGA M.G., 2012. A Pridoli-Lochkovian conodont zonation in Sardinia and the Carnic Alps: implications for a global zonation scheme. *Bulletin of Geosciences*, 87: 635-650.

CORRADINI C., SIMONETTO L., SERVENTI P., CALLIGARIS C. & RIGO R., 2005. Loboliti (Crinoidea) del Devoniano basale di Monte Zermula (Alpi Carniche, Italia). *Rend. della Soc. Paleont. It.*, 2: 27-34.

CORRIGA M.G. & CORRADINI C., 2009. Upper Silurian and Lower Devonian conodonts from the Monte Cocco II section (Carnic Alps, Italy). *Bull. of Geosc.*, 84: 155-168.

CORRIGA M.G., CORRADINI C., SCHÖNLAUB H.P. & PONDRELLI M., 2016. Lower Lochkovian (Lower Devonian) conodonts from Cellon section (Carnic Alps, Austria). *Bull. of Geosc.,* 91: 261-270.

CORRIGA M.G., SUTTNER T.J., KIDO E., CORRADINI C., PONDRELLI M., & SIMONETTO L., 2011. The age of the La Valute limestone-Findenig limestone transition in the La Valute Section (Lower Devonian, Carnic Alps, Italy). *Gortania Geol., Paleont., Paletn.*, 32: 5-12.

ELLERMANN I., 1992. Trilobiten aus dem Unterdevon der Karnischen Alpen/Österreich. *Palaeontographica, A*, 221: 1-62.

FEIST R., 1999. First Mid-Devonian Trilobites from the Carnic Alps. *Abhand. der Geolog. Bundes.*, 54: 295-302.

FEIST R., 1992. Trilobiten aus dem Devon/Karbon-Grenzprofil an der Grünen Schneid (Zentrale Karnische Alpen, Österreich). *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 135: 21-47.

FERRARI A., 1968. Tetracoralli delle Alpi Carniche. La fauna di Monte Zermula. *Giorn. Geol.*, 34: 531-592.

FERRARI A. & VAI G.B., 1966. Ricerche stratigrafiche e paleoecologiche al Monte Zermula (Alpi Carniche). *Giorn. Geol.*, 33: 389-416.

FERRARI A. & VAI G.B., 1973. Revision oft he Famennian rhynconellid genus *Plectorhynchella*. *Giorn. Geol.*, s. 2, 39: 163-220.

FLÜGEL E., 1956. Revision der devonischen Hydrozoen der Karnischen Alpen. *Carinthia II,* 66: 41-60.

GALLI G., 1985. Depositional environments in the Devonian limestone succession of the Cima Ombladet (Camic Alps, Italy). *Facies*, 12: 97-111.

GALLI G., 1985. Ecology and dispersion of the fauna of the Cima Ombladet carbonate succession (Devonian, Carnic Alps, Italy). *Palaeo., Palaeo., Palaeo.*, 49: 265-275.

GOLEKA S. & GAWEDA A., 2012. Plate tectonic evoilution of the Southern margin of Laurussia in the Paleozoic. In: *Tectonic, recent advances*: 261-282.

GORTANI M., 1907. Contribuzioni allo studio del Paleozoico Carnico. II. Faune Devoniane. *Paleontographia Italica*, 13: 1-64.

GORTANI M., 1907. Contribuzioni allo studio del Paleozoico Carnico. III. La fauna a Climenie del Monte Primosio. *Mem. Reale Accad. Scienze Ist. di Bologna*, s. 6, 4: 201-242.

GORTANI M., 1911. Contribuzioni allo studio del Paleozoico Carnico. IV. La fauna mesodevonica di Monumenz. *Paleontographia Italica*, 17: 141-228.

GORTANI M., 1912. Stromatoporidi devoniani del Monte Coglians (Alpi Carniche). *Riv. It. Paleont. e Strat.*, 18: 117-128.

GORTANI M., 1913. La serie devoniana e carbonifera del Monte Coglians (Alpi Carniche). *Boll. del Regio Com. Geol. It.*, 43: 235-280.

GORTANI M., 1915. Contribuzioni allo studio del Paleozoico Carnico. V. Fossili eodevonici della base del Capolago (Seekopfssockel). *Paleontographia Italica*, 21: 117-188.

GORTANI M., 1926. Le condizioni geologiche della conca di Volaia (Alpi Carniche). *Rend. Reale Accad. Scienze Ist. di Bologna*, n.s., 30: 87-97.

JAEGER H. & SCHÖNLAUB H.P., 1980. Silur und Devon nördlich der Gundersheimer Alm in den Karnischen Alpen (Österreich). *Carinthia II*, 170/90: 403-444.

JHAVERI R.B., 1969. Unterdevonische Gastropoden aus den Karnischen Alpen. *Palaeontographica*, Abt. A, 133: 146-176.

JOACHIMSKI M.M., BREISIG S., BUGGISCH W., TALENT J.A., R. MAWSON R., GEREKE M., MORROW J.R., DAY J., WEDDIGE K., 2009. Devonian climate and reef evolution: Insights from oxygen isotopes in apatite. *Earth and Plan. Sc. Lett.,* 284: 599-609.

KAISER S.I., STEUBER, T., BECKER, R.T. & JOACHIMSKI, M.M., 2006. Geochemical evidence for major environmental change at the Devonian-Carboniferous boundary in the Carnic Alps and the Rhenish Massif. *Palaeo., Palaeo., Palaeo.*, 240: 146-160.

KIDO E., SUTTNER T.J., PONDRELLI M., CORRADINI C., CORRIGA M.G., SIMONETTO L. & BERKYOVÁ S., 2011. Correlation of Mid-Devonian coral deposits of the Carnic Alps across the Austro-Italian border. *Kölner Forum für Geol. und Paläont.* 19: 77-81.

KIDO E., SUTTNER T.J., PONDRELLI M., CORRADINI C., CORRIGA M.G., SIMONETTO L. & BERKYOVÁ S., 2011. Middle Devonian rugose corals of the Carnic Alps and their relation to tha Late Eifelian Kacak Event. *Ber. Inst. für Erdwissen., Karl-Franzens-Univ. Graz,* 16: 54-56.

KODSI M.G., 1971. Korallen aus dem Unterdevon der Karnischen Alpen. *Verhand. der Geol. Bundes*., 1971: 576-607.

KORN D., 1992. Ammonoideen aus dem Devon/Karbon-Grenzprofil an der Grünen Schneid (Karnische Alpen, Österreich). *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 135: 7-19.

KREUTZER L.H., SCHÖNLAUB H.P. & HUBMANN B., 1997. The Devonian of Austria. In: SCHÖNLAUB H.P. (ed.), IGCP-421 North Gondwanan Mid-Palaeozoic Biodynamics, Guidebook. *Ber. der Geolog. Bundes.*, 40: 42-60.

KRI J., 1999. Silurian and lowermost Devonian bivalves of Bohemian type from the Carnic Alps. In: LOBITZER H. & GRECULA P. (eds), Geologie ohne Grenzen-Festschrift 150 Jahre Geol. B.-A. *Aband. der Geolog. Bundes.*, 56: 259-316.

LATZ S., 1992. Unterdevonische Brachiopoden aus dem hellen Crinoidenschutt- und Riffkalk der Seewarte (Zentrale Karnische Alpen / Kärnten / Österreich). *Palaeontographica*, Abt. A, 220: 141-201.

MANARA C. & VAI G.B., 1970. La sezione e i conodonti del costone sud del Monte Rauchkofel (Paleozoico, Alpi Carniche). *Giorn. Geol.*, s.2, 36: 441-514.

MANZONI M., 1965. Faune a conodonti del Siluriano e Devoniano delle Alpi Carniche (Nota 1: M. Cocco, M. Lodin, M. Zermula, Val Bombaso e alta Valle del Degano). *Giorn. Geol.*, s. 2, 33: 179-207.

MANZONI M., 1966. Conodonti neodevonici ed eocarboniferi al Monte Zermula (Alpi Carniche). *Giorn. Geol.*, s. 2, 33: 461-496.

MOSSONI A., CORRADINI C. & PONDRELLI M., 2013. Famennian (Late Devonian) conodonts from the Pizzul West section (Carnic Alps, Italy). *Gortania Geol., Paleont., Paletn.*, 34: 13-34.

OEKENTORP-KÜSTER P. & OEKENTORP K., 1992. Rugose Korallenfaunen des Mittel- und Ober-Devons der zentralen Karnischen Alpen. *Jahrb. der Geolog. Bundes*., 135: 233-260.

PAS D., DA SILVA A.-C., SUTTNER T., KIDO E., PONDRELLI M., CORRADINI C., BULTYNCK P, DE VLEESCHOUWER D., DOJEN C., BOULVAIN F., 2014. Insight into the development of a carbonate platform through a multi-disciplinary approach: a case study from the Upper Devonian slope deposits of Mount Freikofel (Carnic Alps, Austria/Italy). *Intern. Journal. Earth Sc.*, 103: 519-538.

PERRI M.C. & SPALLETTA C., 1981. Conodonti e biozonatura del Frasniano (Devoniano Sup.) di Pramosio, Alpi Carniche. *Boll. Soc. Paleont. It.*, 19: 281-310.

PERRI M.C. & SPALLETTA C., 1990. Famennian conodonts from climenid pelagic limestone, Carnic Alps, Italy. *Palaeontographia Italica*, 77: 55-83.

PERRI M.C. & SPALLETTA C., 1991. Famennian conodonts from Cava Cantoniera and Malpasso sections, Carnic Alps, Italy. *Boll. Soc. Paleont. It.*, 30: 47-78.

PERRI M.C. & SPALLETTA C., 2000. Late Devonian-Early Carboniferous transgressions and regressions in the Carnic Alps (Italy). *West. Australian Museum Rec.*, Suppl. 58: 305-319.

PERRI M.C. & SPALLETTA C., 2001. Hangenberg Event al limite Devoniano/Carbonifero al Monte Zermula, Alpi Carniche, Italia. *Giorn. Geol.*, s. 3, Suppl., 62: 31-40.

PÖLSLER P., 1969. Stratigraphie und Tektonik im N-Abfall des Findenigkofel (Silur bis Karbon, Karnische Alpen, Österreich). *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 112: 355-398.

PÖLSLER P., 1969. Conodonten aus dem Devon der Karnischen Alpen (Findenigkofel, Österreich). *Jahrb. der Geolog. Bundes.*, 112: 399-440.

RANDON C., DERYCKE C., BLIECK A., PERRI M.C. & SPALLETTA C., 2007. Late Devonian - Early Carboniferous vertebrate microremains from the Carnic Alps, northern Italy. *Geobios*, 40: 809-826.

SCHÖNLAUB H.P. 1985. Devonian conodonts from section Oberbuchach II in the Carnic Alps (Austria). *Cour. Forschungs Inst. Senckenberg*, 75: 353-374.

SCHÖNLAUB H.P., CORRADINI C., CORRIGA M.G. & FERRETTI A., 2017. Litho-, chrono- and conodont bio-stratigraphy of the Rauchkofel Boden Section (Upper Ordovician-Lower Devonian), Carnic Alps, Austria. *Newsletters on Stratigraphy*, 50: 445-469.

SCHOUPPÉ A.V., 1954. Korallen und Stromatoporen aus dem ef der Karnischen Alpen. *Neues Jahrb. für Geol. und Paläont., Abhandlungen*, 99**:** 379-450.

SPALLETTA C., PERRI M.C. & VAI G.B., 1983. Pattern of conodont reworking in the Upper Devonian of the Alps: palaeoenvironmental and palaeotectonic implica-

tions. *Lethaia*, 16: 51-66.

SUTTNER T.J., 2007. Conodont Stratigraphy, Facies-Related Distribution Patterns and Stable Isotopes (Carbon and Oxygen) of the Uppermost Silurian to Lower Devonian Seewarte Section (Carnic Alps, Carinthia, Austria). *Abhand. der Geolog. Bundes.*, 59: 1-111.

SUTTNER T.J. & KIDO E., 2015. Distinct sea-level fluctuations and deposition of a megaclast horizon in the neritic Rauchkofel Limestone (Wolayer area, Carnic Alps) correlate with the Lochkov-Prag Event. In: BECKER, R.T., KÖNIGSHOF, P. & BRETT, C.E. (eds): Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events. *Geol. Soc., London, Special Pub.*, 423: 11-23.

SUTTNER T., KIDO E., CORRADINI C., VODRÁ KOVÁ S., PONDRELLI M. & SIMONETTO L., 2017. Conodont diversity across the late Eifelian Kacák Episode of the southern Alpine realm (central Carnic Alps, Austria/Italy). *Palaeo., Palaeo., Palaeo.*, 479: 34-47.

TARAMELLI T., 1895. Osservazioni stratigrafiche sui terreni paleozoici nel versante italiano delle Alpi Carniche. *Rend. della Reale Accad. dei Lincei*, s. 5, 4: 185-193.

VAI G.B., 1980. Sedimentary environment of Devonian pelagic limestones in the Southern Alps. *Lethaia*, 13: 79-91.

VINASSA DE REGNY P., 1908. Fossili di Monti di Lodin. *Paleontographica Italica*, 16: 179-185.

VINASSA DE REGNY P., 1918. Coralli mesodevonici della Carnia. *Paleontographica Italica*, 34: 59-120.

VINASSA DE REGNY P. & GORTANI M., 1913. Le condizioni geologiche della conca di Volaia e dell'alta Valentina. *Boll. Soc. Geol. It.*, 32: 445-450

Cave, Miniere e Minerali

BORTOLOZZI G.M., PONDRELLI M. & VIDUS L., 2015. I minerali della Creta di Timau (Lago Avostanis, Paluzza, Udine): riscoperta di un'antica località mineraria. *Gortania Geol., Paleont., Paletn.*, 37: 15-31.

BORTOLOZZI G.M., CIRIOTTI M.E., BITTARELLO E. & MÖCKEL S., 2015. Monte Avanza, Forni Avoltri, Carnia, (Udine, Friuli-Venezia Giulia): conferme e nuovi ritrovamenti. *Micro*, 13: 2-39.

CARULLI G.B. & ONOFRI R., 1966. *Il Friuli: i marmi*. Cam. Comm. Ind. Agric. Udine: 126 pp.

GIRARDI G., 1841-1842. *Storia fisica del Friuli*. Tip. Pascatti, 3 voll.: 173+185+224 pp.

GORTANI M., 1927. I marmi rosei e neri di Timau in Carnia. *In Alto*, 38: 13-16.

MARINONI C., 1881. Sui minerali del Friuli. *Annuario statistico Prov. Udine*, 3: 82-197.

TARAMELLI T., 1869. Osservazioni stratigrafiche sulle Valli del Degano e della Vinadia. *Ann. Scient. R. Ist. Tecn. Udine*, 3: 35-73.

TARAMELLI T., 1877. Catalogo ragionato delle rocce del Friuli. *Mem. R. Accad. Lincei*, s. 3, 1: 511-609.

ZUCCHINI R., 1998. Miniere e mineralizzazioni nella provincia di Udine. Aspetti storici e mineralogici. *Mus. Friul. di St. Nat. Pubbl.*, 40: 148 pp.

ZUCCHINI R., 2002. Mineralizzazioni e miniere nelle Alpi orientali. *Atti Conv. Mineralogia e ricerca mineraria dal Quattrocento ad oggi*: 69-80.

ZUCCHINI R., 2013. Risorse minearie e sfruttamento minerario in area friulana tra Medoevo ed epoca Moderna. In: *Le aree montane come frontiera, spazio di interazione e connettività*. Ed. Aracne: 391-412.

Finito di stampare nel giugno 2018
Poligrafiche San Marco, Cormons, Gorizia